

Mestrado em Engenharia de Minas e Geoambiente

Metodologia para o controlo geoambiental da bacia de contenção de rejeitados da Sociedade Mineira de Catoca em Angola

Dissertação de Mestrado

de

Sabino Augusto Calula Coqueia

Desenvolvido em ambiente empresarial, no âmbito do Mestrado em Engenharia de Minas e Geoambiente, na:

Sociedade Mineira de Catoca



Orientadores na FEUP: Prof^a. Dra. Aurora Magalhães Futuro da Silva

Prof^o. Dr. António Manuel Antunes Fiúza

Orientadores na SMC: Eng.^o Dionísio Neto

Eng.^o Flávio Fernandes Francisco



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Departamento de Engenharia de Minas e Geoambiente

Julho 2014

“O temor do SENHOR é o princípio do conhecimento; mas os insensatos desprezam a sabedoria e a instrução.”

“Provérbios 1:7”.

Agradecimentos

Agradeço acima de tudo, a DEUS pela oportunidade de vida que ele me concedeu e de ingressar neste curso. Isso estende-se a todos aqueles que DEUS usou para que isso se pudesse concretizar;

À minha família, que mesmo distante está sempre presente, norteando meu caminho e estimulando-me para conquistas e crescimento pessoal. Aos meus irmãos, Domingos Vasco, Higino Jongolo, Albina Jonas, Rufina Augusto, Sebastião Julião, Jeremias Sachiungue e a minha mãe Felícia Pedro a quem eu muito amo, o meu muito obrigado, mais uma vez pelo apoio e zelo. Aos meus pais, pelas lições e virtudes, as quais sempre procuro seguir.

Aos meus colegas de curso, faculdade, universidade e a todos residentes da Jaymes Rios de Souza, pela amizade e convivência. Aos amigos Jaimes Mendes, Rui Sousa, Vitor Lopes, Diogo Martins, João Maia, Ricardo Teixeira, Walter Borges, António Daniel, Eugénio Chova, Francisco Bussulo, Edgar Gomes, Luís Sawandi, Juliana Rocha e sua família que compartilharam comigo momentos inesquecíveis na cidade do Porto. Sem vocês eu tenho a certeza que eu não estaria aqui hoje.

Aos professores do curso de mestrado em engenharia de minas e geoambiente, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e por todo o conhecimento repassado para mim, durante o tempo de formação.

Ao diretor geral da Sociedade Mineira de Catoca, por ter anuído a minha solicitação de estágio, aos responsáveis e especialistas dos departamentos de geologia, exploração mineira, metalurgia, sustentabilidade e ao sector de formação e desenvolvimento, por terem concedido a oportunidade de obter conhecimentos práticos e teóricos que ajudaram na consolidação desta dissertação.

E o meu agradecimento especial aos professores António Fiúza e Aurora Futuro e orientadores na sociedade mineira de Catoca, os engenheiros Dionísio Neto e Flávio Fernandes Francisco. Não tenho palavras para agradecer o quanto vossas contribuições foram importantes e determinantes para esta dissertação, para o meu amadurecimento profissional. Vossa sabedoria mostrou-me caminhos, motivando sempre a busca pela melhoria. Obrigado por participarem na concretização deste sonho e objetivo da minha vida;

Enfim, a todos que direta ou indiretamente participaram desta fase da minha vida, o meu muito obrigado

Resumo

A exploração mineira é uma das atividades mais antigas, exercida pelo homem como fonte necessária para o desenvolvimento das sociedades e das indústrias. A utilização de tecnologias avançadas de extração mineral e tratamento de minério representa um fator importante para solucionar os problemas socio-ambientais. Assim sendo, a utilização de um planeamento estratégico de exploração mineral que contemple alternativas de redução dos impactos na deposição dos rejeitados provenientes do tratamento de minério ao ambiente, sem comprometer o crescimento da atividade económica, assim como a perfilhação de tecnologias avançadas utilizadas por equipas especializadas, permitirão restabelecer aproximadamente as condições anteriores do local antes do processo de mineração.

Diante destes factos, na presente dissertação alvitrou-se uma metodologia de controlo geoambiental para a bacia de contenção dos rejeitados da Sociedade Mineira de Catoca, uma empresa de prospecção, exploração, tratamento e comercialização de diamantes, erguida por iniciativa do governo angolano para explorar o kimberlito, de direito angolano e capital misto. Diagnosticou-se as condições relativas à segurança estrutural, operacional e ambiental da mesma bacia de rejeitados, e revelou-se de maneira sistemática o empreendimento mineiro, isto é, desde os aspetos histórico e socioeconómico, a localização geográfica e a topografia, a fauna e a flora, o clima e o solo, a hidrologia, a geologia, a extração mineral e o processo de tratamento do minério.

Por fim, foi possível prognosticar que a solução apresentada nesta dissertação irá contribuir significativamente para o melhoramento do programa de sistema integrado de gestão sustentável da empresa. Consequentemente, visa otimizar o controlo e minimizar os riscos de insegurança da bacia de contenção dos rejeitados, reduzir os impactos ambientais dos resíduos de tratamento de minérios perfilhado pela Sociedade Mineira de Catoca e revelar um ato de sincronização de um trinómio entre mineração sustentável – ambiente seguro – população feliz.

Palavras - chaves: Impacto ambiental mineiro. Bacia de contenção dos rejeitados. Mineração sustentável.

Abstract

The mining exploration is one of the oldest activities exerted by man as a necessary activity for the development of societies and industries. The use of advanced technologies for ore extraction and ore processing represents an important factor to solve the socio - environmental problems. The adoption of a strategic planning for the mining exploitation that incorporates sound alternatives for reducing the environmental impacts originated by the tailings disposal without compromising the feasibility of the economic activity and the selection of advanced technologies used by specialized teams, will allow to re-establish, as much as possible, the previous conditions of the site before the mining activities.

Considering this approach, in the present dissertation it is suggested a methodology for the geo-environmental control of the tailings disposal for the mining society of Catoca, a company that prospects, exploits, treats and commercializes diamonds, raised by the initiative of the Angolan government to exploit the kimberlite, in accordance to Angolan Laws and also with a participation of Angolan capital. The conditions relative to the structural, operational and environmental security of the tailings disposal are analysed, and simultaneously it is presents a systematic description of the mining company, including an historical and socio-economic description, the geographic localization, the topography, fauna and flora, climate, soil, hydrology, geology, mining exploitation techniques and a description of the ore processing plant.

Finally, it was possible to predict that the procedures presented and suggested in this dissertation will contribute to a meaningful improvement in the programme of the company for carrying an integrated system of sustainable management. Consequently, it also aims to minimize the risks of insecurity of the tailings disposal and to reduce the environmental impacts of the tailings, a policy adopted by the Mining Society of Catoca, disclosing an act of synchronization for the trinomial between sustainable mining - safe environment – happy population.

Keys - Words: Mining environmental impact. Tailings disposal. Sustainable mining.

Declaração

Declaro, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Sabino Augusto Calula Coqueia, Julho de 2014

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de Tabelas	ix
Índice de Ilustração	x
1. Introdução	1
1.1 Objetivos de Estudo	2
1.2 Organização do Relatório	3
1.3 Cronograma	4
2 Revisão Bibliográfica/Fundamentação Teórica.....	7
2.1 Formas de Deposição dos Rejeitados Mineral.....	8
2.1.1 Descargas por Pontos Únicos (<i>spray bar</i>)	8
2.1.2 Espigote (<i>Spigotting</i>).....	8
2.1.3 Hidrociclones	9
2.2 Métodos de Construção	10
2.2.1 Método para Montante (<i>Upstream</i>).....	10
2.2.2 Método para Jusante (<i>Downstream</i>).....	11
2.2.3 Método de Construção Central	12
2.3 Histórico de acidentes das Bacias de Contenção dos Rejeitados	15
2.3.1 Galgamento	15
2.3.2 Falha na fundação.....	15
2.3.3 Erosão.....	16
2.3.4 Canalização	16
2.3.5 Liquefação	16
2.3.6 Colapso por uma velocidade de crescimento elevado	17
2.3.7 Colapso por subida do nível de água	17
2.4 Operação e controlo das bacias de contenção de rejeitados.....	19
2.5 Parâmetros utilizados nas análises geotécnicas	20
2.5.1 Composição Granulométrica.....	20
2.5.2 Condutividade Hidráulica.....	23
2.5.3 Propriedades Físicas do Solo	24
2.5.4 Resistência ao Corte	27

2.5.5	Curvas de Compactação	27
2.5.6	Propriedades Físico-químico da Água	28
2.6	Legislação Aplicável ao Controlo da Bacia de Contenção dos Rejeitados Mineiro	30
2.6.1	Austrália	30
2.6.2	EUA e Canada	30
2.6.3	África do Sul	31
2.6.4	Brasil e Portugal	31
2.6.5	Angola	32
3	Diagnóstico da área de influência da Sociedade Mineira de Catoca	34
3.1	Apresentação da empresa	34
3.2	Aspetos Histórico	36
3.3	Aspetos Socioeconómico	37
3.4	Localização Geográfica e Vias de Acesso	38
3.5	O Clima e o Solo	40
3.6	A Fauna e a Flora	41
3.7	A Hidrologia	42
3.8	Geologia	43
3.8.1	Geologia Regional	43
3.8.2	Estrutura Geológica do Jazigo	46
3.8.3	Morfologia e Estrutura Interna do Corpo Mineralizado	46
3.8.4	Aspetos Geológico – Genéticos de Formação do Jazigo	48
3.8.5	Composição Mineralógica	50
3.9	Lavra	51
3.10	Processamento Mineral	55
3.10.1	Pré - Tratamento	56
3.10.2	Enriquecimento	59
3.10.3	Acabamento	62
4	Caraterização da Bacia de Contenção dos Rejeitados da Sociedade Mineira de Catoca	65
4.1	Deposição dos Rejeitados	66
4.2	Sistema de Captação e Recirculação de Água	66
4.3	Processo de Construção da Bacia de Contenção	69
4.4	Inspeção e Monitorização	71

4.5	Manutenção	71
5	Metodologia de Controlo Geoambiental para Bacia de Contenção dos Rejeitados.....	75
5.1	Controlo Geotécnico	75
5.2	Controlo Ambiental.....	76
5.3	Monitorização de Instrumentos	76
6	Análise e Discussão dos Resultados	80
6.1	Resultados e Análise do Controlo Geotécnico	80
6.1.1	Propriedades Físicas dos Rejeitados da Bacia de Contenção	80
6.1.2	Distribuição Granulométrica.....	82
6.1.3	Resistência ao Corte	85
6.1.4	Curva de compactação do solo	86
6.2	Resultados e Análise do Controlo Ambiental.....	88
6.3	Análise dos Resultados da Monitorização por instrumentos	90
7	Conclusões.....	92
8.	Referências bibliográficas	94
ANEXOS I.....		98
Anexos II		107
Anexos III.....		110

•

Índice de Tabelas

TABELA 1 - CRONOGRAMA DA DISSERTAÇÃO.....	4
TABELA 2 - QUADRO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS DE REJEITADOS (FIÚZA, 2009 ADAPTADO PELO AUTOR).....	13
TABELA 3 - HISTÓRICO DE ACIDENTES DAS BACIAS DOS REJEITADOS NO MUNDO (ICOLD, 2014)	18
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS QUANTO AO VALOR DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE	21
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DE SOLOS (ASTM D 2487-85)	22
TABELA 6 - PRINCIPAIS COMPORTAMENTOS DE SOLOS EM OBRAS DE ATERROS.....	23
TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS QUANTO À CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (TERZHAGHI & PECK, 1967).....	24
TABELA 8 - PROPRIEDADES DO ESTADO DOS SOLOS DE CALIBRE GROSSEIRO	26
TABELA 9 - ELEMENTOS ESSENCIAIS DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO (FERNANDES, 2011).....	28
TABELA 10 - COORDENADAS GEOGRÁFICAS DA ZONA EM ESTUDO.....	38
TABELA 11 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO SISTEMA DE MINERAÇÃO.....	53
TABELA 12 - PARÂMETROS DO DESENVOLVIMENTO DA MINERAÇÃO.....	54
TABELA 13 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO FERRO SILÍCIO DO TIPO D270.....	60
TABELA 14 - PROPRIEDADES FÍSICAS DOS REJEITADOS	81
TABELA 15 - RESULTADOS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	82
TABELA 16 - TEOR DAS FRAÇÕES	84
TABELA 17 - RESULTADOS DO ENSAIO DE CORTE DIRETO	85
TABELA 18 - RESULTADOS DA ANÁLISE DA ÁGUA DA BACIA DE REJEITADOS	89
TABELA 19 - VARIÁVEIS DE DESCARGA DOS REJEITADOS NA EXPLORAÇÃO DA BACIA DE CONTENÇÃO.....	90

Índice de Ilustração

ILUSTRAÇÃO 1 - MÉTODOS DE ALTEAMENTO EM BARRAGENS (ESPÓSITO, 2000 ADAPTADO PELO AUTOR).	14
ILUSTRAÇÃO 2 - GRÁFICO USADO PARA REPRESENTAÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA.	21
ILUSTRAÇÃO 3 - ESTRUTURA DE ACIONISTAS DA SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA.....	34
ILUSTRAÇÃO 4 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE CATOCA.....	38
ILUSTRAÇÃO 5 - AERÓDROMO DA SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA	39
ILUSTRAÇÃO 6 - ESTRADA DA VILA RESIDENCIAL NA MINA DE CATOCA	39
ILUSTRAÇÃO 7 - MAPA DE SOLOS DE ANGOLA	40
ILUSTRAÇÃO 8 - ÁREA DE SAVANA ARBORIZADA.....	41
ILUSTRAÇÃO 9 - QUEDAS DO RIO CHICAPA.....	42
ILUSTRAÇÃO 10 - ZONAS DE OCORRÊNCIAS KIMBERLÍTICAS EM ANGOLA, (MOISÉS, 2003 ADAPTADO PELO AUTOR).....	43
ILUSTRAÇÃO 11 - REPRESENTAÇÃO DA CARTA GEOLÓGICA DA ZONA DE ESTUDO.....	45
ILUSTRAÇÃO 12 - BLOCOS DE EXPLORAÇÃO/ CORPO MINERALIZADO DO JAZIGO	47
ILUSTRAÇÃO 13 - SISTEMA DE TRANSPORTE E CARREGAMENTO DE ESTÉRIL	51
ILUSTRAÇÃO 14 - CHAMINÉ KIMBERLÍTICA DE CATOCA	52
ILUSTRAÇÃO 15 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLO POR SMARTMINE DE CATOCA.	53
ILUSTRAÇÃO 16 - SISTEMA DE TRANSPORTE E EXTRAÇÃO DO MINÉRIO NA CORTA.....	54
ILUSTRAÇÃO 17 - CENTRAL DE TRATAMENTO MINÉRIO 2 DA SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA.....	55
ILUSTRAÇÃO 18 - FASE DO PRÉ – TRATAMENTO DA SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA	57
ILUSTRAÇÃO 19 - CORREIA DE RETORNO AO MOINHO	57
ILUSTRAÇÃO 20 - FLUXOGRAMA DO PRÉ - TRATAMENTO	58
ILUSTRAÇÃO 21 - FLUXOGRAMA DA FASE DE ENRIQUECIMENTO DA SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA.....	61
ILUSTRAÇÃO 22 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE ACABAMENTO DA CENTRAL DE TRATAMENTO	63
ILUSTRAÇÃO 23 - BACIA DE CONTENÇÃO DOS REJEITADOS DA SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA	65
ILUSTRAÇÃO 24 - TUBO DE DESCARGA DOS REJEITADOS.....	66
ILUSTRAÇÃO 25 - PLATAFORMA FLUTUANTE COM BOMBAS DO TIPO GRINDEX MAGNUM	67
ILUSTRAÇÃO 26 - SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA NA SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA	68
ILUSTRAÇÃO 27 - O BULDÓZER UTILIZADO NO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DOS TALUDES.....	70
ILUSTRAÇÃO 28 - TALUDES COBERTOS COM TERRA VEGETAL	73
ILUSTRAÇÃO 29 - VISÃO HOLÍSTICA DA BACIA DE CONTENÇÃO DOS REJEITADOS DA SMC.....	73
ILUSTRAÇÃO 30 - CURVA GRANULOMÉTRICA DOS REJEITADOS DA BACIA DE CATOCA.....	83
ILUSTRAÇÃO 31 - ENVOLVENTE DE ROTURA DOS SOLOS DA BACIA DE REJEITO DE CATOCA.....	85
ILUSTRAÇÃO 32 - CURVA DE COMPACTAÇÃO DOS SOLOS DA BACIA DOS REJEITADOS DE CATOCA	87

CAPÍTULO 1

Introdução

1. Introdução

A mineração é uma das atividades mais antigas, exercida pelo homem como fonte necessária para o desenvolvimento das sociedades e das indústrias. A utilização de tecnologias avançadas de extração e tratamento de minérios tem sido nos últimos anos o fator importante para colmatar vários danos ambientais, causados por este agregado mineral ao longo do seu segmento de produção. Noutros termos, evita-se o quadro de degradação ambiental e os custos onerosos de reabilitação ambiental das áreas onde é exercida, possivelmente causando problemas à população adjacente à atividade. Para isto, é imperativo um planeamento de estratégias de exploração mineral que contemplem alternativas técnicas de redução dos impactos na deposição de minérios rejeitados no ambiente, sem comprometer o crescimento da atividade económica. A perfilhação destas tecnologias avançadas, utilizadas por equipas especializadas, permitem realizar a reabilitação do local durante a exploração e restabelecer as condições anteriores do local no final do processo da mineração.

As várias etapas envolvidas diretamente na exploração mineira geram uma quantidade expressiva de resíduos sólidos, ou seja, um processo que envolve desde o material de cobertura, aos escombros (estéreis proveniente da corta), rejeitados da instalação de tratamento minérios (por via física ou química), armazenamento de minérios de baixo teor para os tratamentos não convencionais, até aos rejeitados de tratamento não convencionais (eiras de lixiviação estática).

Os minérios de baixo teor e os escombros originados pela extração mineral, por razões económicas, são armazenados próximo da mina ou das frentes de desmontes, numa zona estéril em exploração a céu aberto. No que concerne as explorações subterrâneas, as mesmas são depositadas próximas dos poços ou galerias de extração por meio de correias transportadoras de descarga fixa ou móvel e equipamento mecânico auxiliar (*dumpers*, *skrapers*, *skips*, pás carregadoras-transportadoras). A sua deposição é feita em forma de vales, em flanco de encosta, em pilhas sobre uma superfície plana e barragens anelares (*Ring-dik-tipe*). A escolha de cada uma das formas de deposição de estéril e rejeitados depende do volume e granulometria do material a depositar, topografia e condições de drenagem do local, hidrologia e hidrogeologia da região, distância da mina, das propriedades físicas e químicas dos minérios, processo de

tratamento mineral, entre outros elementos. Por outro lado, o armazenamento dos rejeitados, originados pelo tratamento de minérios, sob uma ação física ou química na presença de água em forma de polpa, altera significativamente o ambiente. Neste contexto, para minimizar os impactos ambientais e melhorar os aspetos de segurança nas populações que vivem ao redor da exploração, estes rejeitados são levados por correias transportadoras em pasta ou a granel, sob a forma de polpas ou suspensões que normalmente são transportados em tubagens por bombeamento ou gravidade até a bacia de contenção dos rejeitados com a utilização de *Spray bars*, *Spigots* ou hidrociclones. Assim sendo, entende-se por bacia de contenção dos rejeitados, como um depósito pela qual o rejeito lançado se sedimenta e a água clarificada oriunda da separação é reutilizada para o tratamento dos minérios, ou então, como sendo uma estrutura construída segundo critérios geotécnicos com o propósito de conter o rejeitado gerado no processo produtivo, impedindo desta forma, que cause impactos em outras áreas.

Deste modo, surgiu o interesse em traçar uma metodologia de controlo geoambiental para a bacia de contenção dos rejeitados na sociedade mineira de Catoca/Angola, indústria cuja principal atividade é a extração de diamante.

1.1 Objetivos de Estudo

Conhecer e caraterizar uma metodologia de controlo geoambiental para a bacia de contenção dos rejeitados na sociedade mineira de Catoca, bem como diagnosticar as condições relativas à segurança estrutural, operacional e ambiental, que inclua os conceitos de sustentabilidade social, económica e ambiental.

1.2 Organização da dissertação

A dissertação está organizada em 7 capítulos. Redigido da seguinte maneira:

- ❖ Capítulo 1 – Apresenta-se a introdução, objetivos de estudo, organização da dissertação e o cronograma.
- ❖ Capítulo 2 – Encontra-se a revisão bibliográfica/fundamentação teórica sobre conceitos relativos a rejeitados minérios, sistema de deposição, métodos de construção, os acidentes históricos, operação e controlo das bacias de contenção dos rejeitados, parâmetros utilizado para análise geotécnica, parâmetros físico – químicos da qualidade da água, e uma breve apresentação da legislação de alguns países da África austral, CPLP – Brasil e Portugal, EUA, Austrália e finalmente o código mineiro Angolano.
- ❖ Capítulo 3 – Realiza-se um diagnóstico na área de influência da sociedade mineira de Catoca, incluindo o processo desde a sua missão e visão, passando pelos aspetos históricos e socioeconómicos, terminando com a localização geográfica, a topografia, o clima, a fauna e flora, o solo, a hidrologia, a geologia, a lavra e o processamento mineral.
- ❖ Capítulo 4 – Relata-se, de maneira sucinta, a caracterização da bacia de contenção dos rejeitados da sociedade mineira de Catoca, descrevendo a deposição do rejeitado, o processo de construção, a estabilidade dos taludes, a inspeção e monitorização, e a manutenção da bacia de rejeitados.
- ❖ Capítulo 5 – Revela-se, extensivamente, o alvitre que visa assegurar, de modo eficiente, uma metodologia de controlo geoambiental para a bacia de contenção dos rejeitados, através do controlo geotécnico, ambiental e da monitorização de instrumentos.
- ❖ Capítulo 6 – Expõe-se os resultados das análises geotécnicas: distribuição granulométrica; densidade das partículas; peso volúmico seco; peso volúmico do solo e teor em água; resistência ao corte; porosidade e índices de vazios; curvas de compactação do solo; parâmetros físico-químicos da água na bacia e a drenada; e, monitoramento dos dispositivos.
- ❖ Capítulo 7 – Coloca-se em evidência as conclusões que escoaram em todas as fases do relatório.

1.3 Cronograma

A tabela 1, apresenta as diversas atividades do desenvolvimento da dissertação com os respetivos prazos previstos para cada etapa.

Tabela 1 - Cronograma da dissertação

Actividades	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Solicitação de estágio											
Definição do tema e estruturação											
Recolha bibliográfica e leitura											
Revisão da literatura											
Realização do estágio e redação											
Recolha de amostras e testes de laboratório											
Análise dos resultados dos testes											
Conclusão e revisão											
Apresentação											

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica/Fundamentação Teórica

2 Revisão Bibliográfica/Fundamentação Teórica

De acordo Chamas (1989), a mineração é um complexo de atividades necessárias à extração económica de bens minerais da crosta terrestre, provocando transformações no meio ambiente, através da extração mineral (efetuada por um conjunto de ações estruturada para retirar ou extrair o mineral desejado para o seu aproveitamento industrial ou utilização direta) e do processo de tratamento de minério (técnicas de separação física ou química com o interesse de granjear o mineral útil ou economicamente aproveitável).

Na extração mineral são gerados resíduos (estéreis) ao longo do período de decapeamento, este período ocorre com base na retirada da cobertura do jazigo (*overburden*) e, posteriormente, na de escombros (gangas). Relativamente ao processo de tratamento de minério, onde são produzidos rejeitados, entendido como sendo um material que passa pelo processo de separação física ou química, não sendo economicamente aproveitável. Consecutivamente, estes rejeitados são denominados de granulares quando o material proveniente do moinho e da classificação possuir uma granulometria acima de 0,074 mm, e, ainda, quando tiver granulometria fina, denominando-se de lamas. A grande diferença do estéril e dos rejeitados numa exploração mineira reside na sua distribuição granulométrica, onde os rejeitados são mais finos que os escombros – estéreis, bem como na quantidade de água presente nos rejeitados em forma de polpa, com percentagens de sólidos variáveis. No que respeita aos estéreis, estes são materiais praticamente secos.

Independentemente do tratamento adotado, os rejeitados diversificam pelas suas características físico-químicas, geotécnicas e mineralógicas. A deposição do material rejeitado depende das condições geológicas e topográficas da região, das propriedades mecânicas dos rejeitados e do impacto ambiental.

2.1 Formas de Deposição dos Rejeitados Mineral

Os rejeitados provenientes das centrais de tratamento de minérios são transportados por tubagem de aço ao carbono até a bacia, local onde são depositadas. Para os rejeitados chegarem à lagoa é necessário um estudo antecedente sobre as características dos materiais a depositar, o ciclo de deposição, o clima, o *layout* da barragem e o *design*.

As formas de deposição do rejeitado mineral mais utilizadas quando se objetiva fornecer a maior parte do material para aumentarem os diques gradualmente, e, subsequente ao primário, são por descarga de ponto único, por *spigotting* e por hidrociclone.

2.1.1 Descargas por Pontos Únicos (*spray bar*)

Descargas por pontos únicos (*spray bar*) são as técnicas de descarga dos rejeitados nas extremidades de um tubo colocado longitudinalmente a barragem. Estas formas de deposição são muitas vezes usadas em descargas de lamas a montante da barragem e quando se deseja dar maior declive e uniformidade à praia, não sendo por essa razão adequados quando se deseja manter longe as frações finas do rejeito depositado. Por outra perspectiva de análise, Lighthall (1989) afirma que a área de superfície baixa de proporção de volume conferida por este sistema, faz dela muito atraente em ambientes extremamente frios, onde o congelamento de correntes de descarga de menores dimensões pode ocorrer.

2.1.2 Espigote (*Spigotting*)

Espigote é a técnica de deposição dos rejeitados através de uma válvula de descarga em intervalos regulares, utilizada para obter um fluxo menos uniforme de rejeitados com tendência de criar uma praia uniforme. Esta praia apresenta uma inclinação suavizada, onde a fração mais grossa do rejeitado aloca-se mais próximo do ponto de descarga e as mais finas vão depositar-se mais longe da zona de vazão. A presente situação de diferenciação granulométrica do rejeitado na sua deposição faz com que aumente a variabilidade dos parâmetros de resistência ao corte, deformabilidade e condutividade hidráulica, permitindo a estas variáveis diminuir com o aumento da distância dos pontos de descarga e também a redução da superfície

freática. Lighthall (1989) assevera que a velocidade de deposição dos rejeitados, a concentração de sólidos nas zonas de descarga e na válvula de descarga permite o desenvolvimento de praias, oferece estabilidade estrutural para o dique de contenção e ao mesmo tempo cria um caminho longo à infiltração da lagoa para o dique de contenção, que, conseqüentemente, fornece a dissipação da pressão nos poros.

2.1.3 Hidrociclones

Hidrociclones são dispositivos mecânicos utilizados para separar partículas de granulometria fina da grossa em suspensão sob ação da força centrífuga. Constituído por uma peça cilíndrica associada a uma secção cónica, a uma boca de alimentação, onde é injetada a polpa e duas saídas de polpa. Uma dessas saídas, denominada de *vortex*, situa-se no topo da parte cilíndrica e tem a função de conduzir as partículas finas ao *overflow*. Quanto a segunda saída, conhecida por *apex*, situa-se na extremidade da parte cilíndrica e tem a função de descarregar as partículas grosseiras da alimentação no *underflow*.

O material de granulometria grosseira proveniente do *underflow* é utilizado para construção dos diques, enquanto os do *overflow* são depositados na bacia. A descarga do *underflow* deve ser monitorizada regularmente para permitir a medição da densidade da polpa, o tamanho das partículas, as pressões na boca de alimentação e ajustar os parâmetros operacionais do dispositivo. Ao se aproveitar o material do *underflow* do hidrociclone para a construção do dique é importante que seja realizada a priori uma avaliação deste mesmo material, de forma a perceber se possui uma permeabilidade significativamente elevada, comparativamente das lamas que estão na bacia. Este processo é realizado no sentido de obter um controlo do nível freático da bacia de contenção; averiguar se os rejeitados permitem a drenagem rápida no momento da descarga e ainda, de que maneira pode facilitar o manuseamento e disseminação dos rejeitados. Num outro ponto de análise, o rejeitado de granulometria grosseira deve ter um volume suficiente para permitir o alteamento futuro do dique. Por sua vez, para se enquadrar nesta dimensão, deve conter 60% de material que passe no crivo de 200 *mesh* (0,074 mm), sendo de certa forma, considerados aceitáveis para aplicação dos hidrociclones.

2.2 Métodos de Construção

Existe uma variedade de métodos e materiais usados para a construção de diques das bacias dos rejeitados que proporcionam segurança e estabilidade necessária a estrutura, com baixos custos operacionais. Uma das maneiras de reduzir os custos na construção e estabilização da estrutura, é através da utilização dos materiais de empréstimo na zona onde poderá se instalar a bacia de contenção dos rejeitados, no início e ao longo da exploração, e assim, dar o seguimento da utilização do rejeitado na praia aos futuros alteamento do dique, independentemente da técnica a aplicar no alteamento. De outra forma, é importante que os materiais estejam em condições aceitáveis de permeabilidade, de compressibilidade e requisitos de resistência ao corte, devem ser quimicamente estáveis, de modo a não originar drenagem mineira ácida (DMA).

2.2.1 Método para Montante (*Upstream*)

Este é o método mais antigo e mais económico, que se inicia com a construção de uma barragem ou dique de partida, a partir de jusante, e assim, ser capaz de passar água a infiltrar e as tubagens resistentes, tabela 2. Os rejeitados são depositados a partir da crista do dique por *espigote* ou ciclones, o que faz com que o material de granulometria grossa forme a praia, permitindo a utilização deste material no alteamento do próximo dique (ilustração 1). Em alguns casos, os diques a serem alteados são colocados por equipamentos, onde a sua deposição é usada para construir praia, fazendo uma adição de lamas para revestir o talude a montante do dique, de forma a reduzir a permeabilidade. Em outros casos, os diques podem ser construídos com solos de empréstimos ou rejeitados da praia escavados por uma draga ou escavadora e seguida por uma compactação mecânica antes da próxima etapa de alteamento.

Os critérios mais importantes para a aplicação do método de construção a montante são os rejeitados da praia terem condições essenciais para formar uma base competente e apoiar a construção do próximo dique. Vick (1990) afirma que os materiais depositados numa bacia dos rejeitados devem possuir 40% a 60% de rejeitado. Porém, outros autores realçam ainda, que a distribuição granulométrica dos rejeitados, o controlo do nível freático, a capacidade de armazenamento de água, a suscetibilidade a liquefação sísmica e a altura do dique a ser alteado revelam-se fatores preponderantes na escolha da aplicação desta técnica de construção. O mesmo autor, identifica também,

que a permeabilidade da base em relação aos rejeitados, o grau de extensão granulométrica, a variação da permeabilidade lateral dentro do depósito e a localização da água em relação ao topo da crista do dique são fatores que influenciam o nível freático das bacias dos rejeitados construídos por este método e que pode ser controlado por meio de procedimentos operacionais.

2.2.2 Método para Jusante (*Downstream*)

No método de crescimento para jusante, a linha central dos sucessivos diques progride para jusante, onde a sua construção é feita, tal como ao método anterior, com a fração grosseira dos rejeitados. Para impedir as infiltrações e a liquefação, a parede de montante deve ser protegida por uma camada impermeável, ou então os sucessivos diques devem ser compactados, enquanto um leito permeável deve preceder para jusante o assentamento de cada dique em progressão (ilustração 1). Contrariamente ao método anterior parte-se de um dique inicial impermeável, que deve ser construído com materiais compactados contendo argilas. Este método permite dimensões da barragem superiores ao método anterior, que sejam incorporados a jusante um sistema de drenos e um núcleo impermeável (às vezes utilizadas argilas), com o objetivo de se apresentar mais seguro (Fiúza, 2009).

A forma de deposição mais comum, aplicado a este método de construção é por *espigote* periférico para rejeitados controlados ou por hidrociclones, no caso de desejar espalhar em camadas finas os rejeitados de maior granulometria e em seguida compactado. No entanto, Brawner, et al. (1973) recomendam que se a barragem for construída numa zona de alto potencial sísmico ou possuir uma altura superior a 50 m, os materiais utilizados a jusante devem ser compactados até atingir um índice de compacidade aceitável para minimizar a ocorrência de liquefação. Devem possuir um cachimbo inclinado perto do talude a jusante do dique ligado a um dreno na base instalada ao longo do desenvolvimento do alteamento. Numa outra perspetiva, Vick (1990) afirma que para controlar o nível freático, minimizar a pressão da água nos poros e diminuir a resistência ao corte, deve fazer-se um controlo eficiente do sistema de drenagem.

As principais vantagens deste método em relação ao anterior, são: a sua construção não perturbar os finos já depositados, o controlo quanto a segurança e a compactação não serem afetados pelo enchimento, o sistema de drenagem inferior poder

ser instalado à medida que a barragem vai sendo construída e serem apropriados para armazenar quantidades elevadas de água com os rejeitados. Quanto a incorporação de medidas de controlo do nível freático e os sucessivos alteamentos do dique, estes não são estruturalmente dependentes dos rejeitados depositados.

2.2.3 Método de Construção Central

A construção do método de linhas de centro é semelhante a ambos os métodos de construção a montante e a jusante, em que o aterro começa com um dique de partida e os rejeitados são depositados por *espigote* ou ciclones fora da crista do dique para formar a praia. A linha central do aterro é mantida com enchimento, onde os aumentos progressivos são colocados nos taludes da praia e de jusante (ilustração 1). Os resíduos colocados sobre a inclinação a jusante devem ser comprimidos para prevenir falhas de corte. O método de construção central proporciona algumas vantagens sobre os outros dois métodos (tabela 2), reduzindo alguns inconvenientes e possibilitando ao sistema de drenagem que sejam instalados no período de construção. De outro modo, este método é suscetível a deposição da polpa com pouca percentagem de sólidos e ao aumento do armazenamento de água devido a precipitação intensa, que não afeta negativamente à estabilidade da estrutura de contenção. Assim, acabam por ser resistentes às altas atividades sísmicas, caso se o material tiver um índice de compacidade aceitável e uma boa drenagem interna.

Tabela 2 - Quadro comparativo dos métodos de construção das barragens de rejeitados (Fiúza, 2009 adaptado pelo autor)

Parâmetros	Barragem de retenção	<i>Upstream</i>	<i>Downstream</i>	Construção central
Caraterísticas dos resíduos	Adaptável a qualquer tipo de resíduo.	Pelo menos 40%- 60% da areia nos resíduos totais. Desejável uma baixa densidade de polpa para promover a segregação de calibres.	Adaptável a qualquer tipo de resíduo.	Areias ou lodos de baixa plasticidade.
Necessidade na descarga	Qualquer processo de descarga é apropriado.	Descarga periférica e um bom controlo da praia.	Varia de acordo com os detalhes do projeto.	Descarga periférica.
Adequabilidade do armazenamento de água	Bom	Não é apropriado para um armazenamento de água significativo.	Bom	Não é recomendável para o armazenamento permanente.
Resistência sísmica	Bom	Mau para zonas de risco sísmico	Bom	Aceitável
Restrições à velocidade de elevação	A barragem de contenção é construída previamente.	Preferencialmente a 4,5 -9 m/ano. Perigo quando superiores a 15 m/ano.	Nenhuma	Restrições à altura de acordo com as velocidades.
Caraterística de enchimento da barragem.	Solo natural de empréstimo.	Solo natural, resíduos arenosos ou escombros.	Resíduos arenosos ou escombros quando as produções são suficientes ou solo natural.	Resíduos arenosos ou escombros se as velocidades de produção forem suficientes ou solo natural.
Custo relativo da barragem	Elevado		Elevado	Moderado

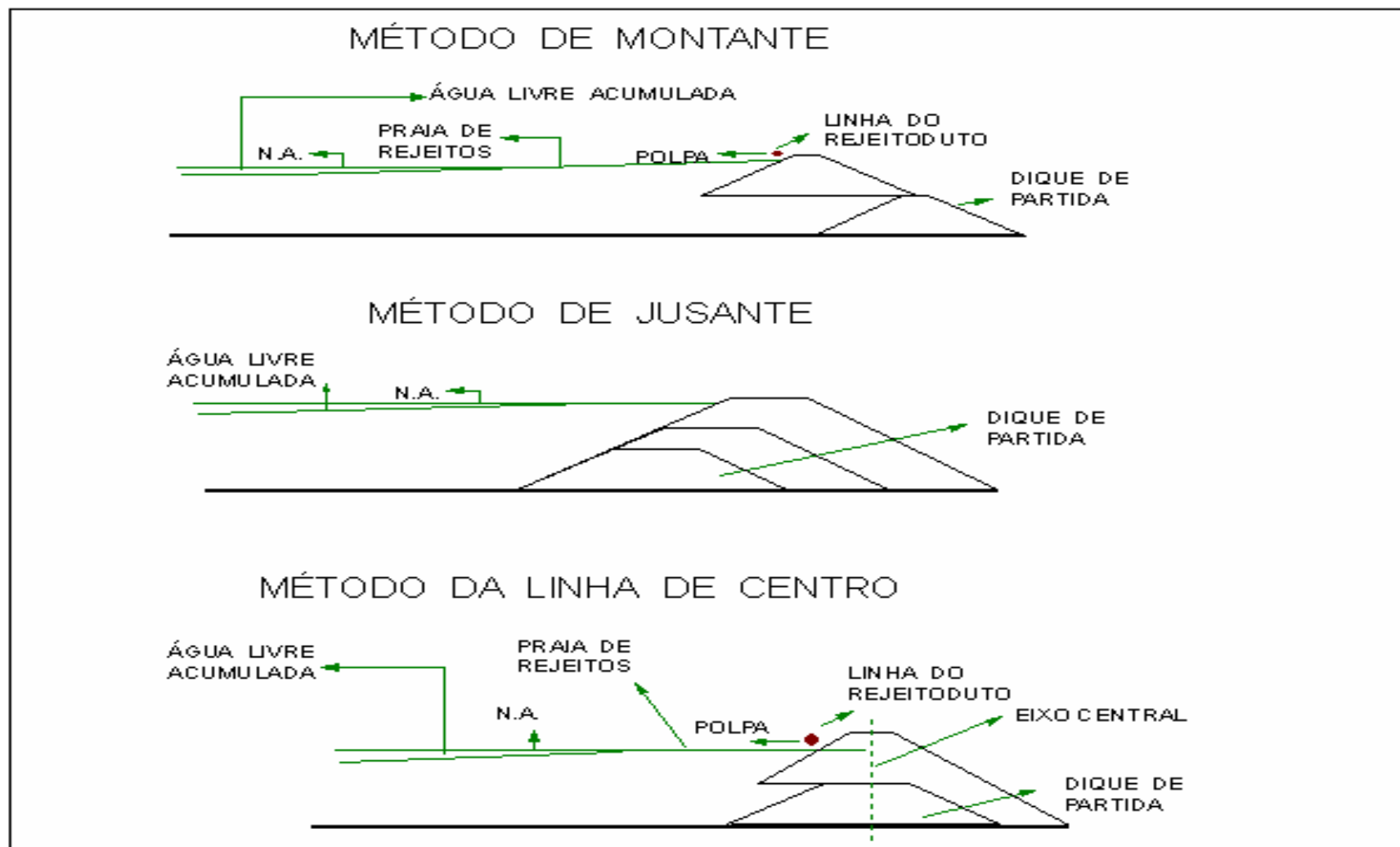


Ilustração 1 - Métodos de alteamento em barragens (Espósito, 2000 adaptado pelo autor).

2.3 Histórico de acidentes das Bacias de Contenção dos Rejeitados

As barragens de contenção dos rejeitados da mineração são estruturas complexas e dinâmicas que requerem cuidados especiais na investigação de campo, elaboração de projetos, construção, operação, monitorização e manutenção das estruturas (Esposito, 1995). Deste modo, a eliminação ou o controlo de todos os acidentes e incidentes devem ser a preocupação principal de todos os gestores da indústria mineira. Por acidentes, entende-se como sendo uma anomalia de grande porte, correspondente à rotura parcial ou total de uma obra e a sua completa não funcionalidade causa graves consequências económicas e sociais. Incidente, é entendido como sendo um evento físico indesejável de pequeno porte, prejudicando a funcionalidade da obra e por essa razão, pode causar acidentes se não for corrigido a tempo (Vieira, 2005).

Numa cronologia seriada de acidentes das bacias de contenção dos rejeitados mineiros, nos últimos 9 anos reportados pela ICOLD (2014), na tabela 3, é notório que as estruturas são vulneráveis a apresentarem alguns defeitos parciais ou completos, como os defeitos na fundação, o galgamento pelas águas de enchentes, a erosão interna ou em taludes, canalização ou tubagem, liquefação em zona de atividade sísmica ou de muita vibração, colapso por uma velocidade rápida de alteamento do dique e por subida do nível da água na bacia.

2.3.1 Galgamento

Um dos problemas mais comuns de colapso por galgamento é causado pelas águas de enchente, isto é, quando o nível da água ultrapassa a crista da barragem, ocorrendo um galgamento, é muito provável que ocorram inúmeras fissuras. A água de transbordo vai provocar uma rápida erosão da parede até conduzir num tempo muito curto, alguns minutos, a um colapso da estrutura.

2.3.2 Falha na fundação

Os defeitos na fundação não são incomuns entre as estruturas de rejeito, onde existe na base da estrutura uma camada fraca de solo ou rocha em profundidade na fundação. O movimento ao longo de um plano de fraqueza ocorrerá se o carregamento

do solo produzir tensões em excessos da força de corte do solo na camada fraca (CANMET 1977).

2.3.3 Erosão

Este tipo de acidente acontece mais em zonas de altas precipitações, onde as estruturas podem ser suscetíveis a sofrer danos em duas principais áreas, parte interna e nos taludes do dique alteado. Este fenómeno designado por *piping* (erosão interna) poderá conduzir ao desenvolvimento de grandes cavidades, progredindo de jusante para montante. Para prevenir é necessário diminuir os gradientes hidráulicos e incorporando na estrutura filtros e drenos adequados, fazer uma adequação de métodos de desvio ou encaminhamento de águas pluviais e fazer uma manutenção no talude da estrutura.

2.3.4 Canalização

A canalização ocorre quando existem infiltrações para a parte interna ou na camada inferior do armazenamento, originando uma erosão ao longo do percurso. Uma canalização excessiva pode provocar um colapso parcial ou total da barragem (Fiúza, 2009).

2.3.5 Liquefação

Este tipo de colapso ocorre com maior frequência em zonas sísmica, dizem respeito a barragens de terras em que no seu estado natural o seu índice de vazios é superior ao críticos e o solo está submerso. Isto acontece com maior frequência quando o nível freático está próximo do dique alteado e a compacidade em regra é baixa.

Para além das ações sísmicas em bacias de rejeitados mineiros, a liquefação pode ocorrer como consequência de vibrações causadas por equipamentos pesados que viajam ao longo da crista das paredes do dique ou ainda originados por rebentamentos provenientes da extração mineral na lavra (se a bacia estiver próxima da corta). De uma maneira resumida, pode – se dizer que os fatores que afetam a liquefação são: o tipo de solo (granulometria uniforme – finos, são os mais suscetíveis), compacidade (quando maior for, mais resistente será à ação), o excessos positivos de pressão na água dos poros do rejeito, a intensidade dos sismo e a localização do nível freático.

2.3.6 Colapso por uma velocidade de crescimento elevado

Se uma barragem tipo *upstream* crescer de uma forma demasiadamente rápida o seu dique, pode ocorrer um colapso provocado por uma pressão excessiva nos poros no interior da estrutura.

2.3.7 Colapso por subida do nível de água

Uma subida excessiva do nível das águas pode originar um colapso nas barragens *upstream* – mesmo que não aconteça um galgamento. A subida de nível pode ser originada por precipitações elevadas ou por gestão incorreta dos efluentes lançados na barragem provocada pelo operador da central do tratamento de minério. Se a extensão da praia for demasiado pequena, a superfície freática sobe no interior do armazenamento e pode fazer com que a crista da barragem se torne instável. Pode haver um colapso total da barragem, iniciando-se na sua crista.

Tabela 3 - Histórico de acidentes das bacias dos rejeitados no mundo (ICOLD, 2014)

Data	Localização	Tipo de minério	Causas dos acidentes	Impactos
02/02/2014	Dan river steam station, Eden, North Carolina.	Cinzas de carvão	Colapso de um velho tubo de drenagem em uma lagoa de resíduos de cinzas de 27 hectares.	Cerca de 74400 t de cinzas de carvão e 27 milhões de litros de água contaminada. As cinzas fluíram através de tubos de drenagem ao rio Dan.
15/11/2013	Kajaran, Syunik province, Armenia	Cobre e molibdênio	Danos na conduta de transporte dos rejeitados	Rejeitados fluindo no Rio de Norashenik por vários dias.
17/12/2012	Newfoundland, Canada	Cobre	Falha de barragem de aterro, com uma largura de 50 m.	Foi emitido um comunicado a cidade de South Brook para não consumir água.
04/11/2012	Sotkamo, Kainuu province, Finland	Níquel, (subproduto de urânio planeado)	Vazamento de lagoa de gesso por um "buraco em forma de funil"	Centenas de milhares de metros cúbicos de águas residuais contaminadas; Presença de altas concentrações de níquel e zinco no rio vizinho Snow, atingindo valores que são prejudiciais para os organismos.
21/07/2011	Mianyang City, Songpan County, Sichuan Province, China	Manganês	Barragem de rejeitados danificados de deslizamentos de terra causados por chuvas	Rejeitados danificaram estradas residenciais e casas, forçando o desalojamento de 272 pessoas; os rejeitados foram lavados no Rio Fujiang, deixando 200 mil pessoas sem abastecimento de água potável.
04/10/2010	Kolontár, Hungary	Bauxite	Falhas na barragem de rejeitados	700000 m ³ de lama vermelha cáustica; várias cidades inundadas, 10 pessoas mortas, cerca de 120 pessoas feridas, 8 Km ² inundados
25/06/2010	Huancavelica, Peru	Mercúrio	Falhas na barragem de rejeitados	21420 m ³ de rejeitados; contaminação de rio Escalera e o rio Opamayo 110 km a jusante.
29/08/2009	Karamken, Magadan region, Russia	Ouro	Falhas na barragem originada por elevadas chuvas	Onze casas foram levadas pelas terras; pelo menos uma pessoa morreu.
14/05/2009	Hunan Province, China	Manganês	Falha na barragem de rejeitados com uma capacidade de 50000 m ³	O deslizamento de terra na barragem de rejeitados destruiu uma casa, matando 3 e ferindo 4 pessoas.
22/12/2008	Kingston fossil plant, Harriman, Tennessee, USA	Cinzas de carvão	Falhas no dique de retenção	Ocorreu o Lançamento de 5,4 milhões de m ³ de lama de cinza que cobriram 400 hectares, derrubando linhas de alta tensão, e rompeu uma linha de gás; danificaram 12 casas, e uma pessoa teve de ser socorrido, mas ninguém ficou gravemente ferido.
08/09/2008	Xiangfen county, Shanxi province, China	Ferro	Colapso de um reservatório de rejeito em uma mina ilegal durante intensas chuvas	O deslizamento causou o enterramento de um mercado, um edifício de 3 andares e várias casas; Morreram 254 pessoas e 35 feridas.
06/11/2006	Nchanga, Chingola, Zambia	Cobre	Falha na deposição do material rejeitado da planta de lixiviação	Lançamento de rejeitados altamente ácidos no rio Kafue; altas concentrações de cobre, manganês, cobalto na água do rio; abastecimento de água potável das comunidades a jusante desligado.
30/04/2006	Shangluo, província de Shaanxi, China	Ouro	Falha na barragem durante o alteamento do sexto dique.	O deslizamento de terra enterrou cerca de 40 quartos de nove famílias, deixando 17 moradores desaparecidos. Cinco feridos foram levados ao hospital. Mais de 130 moradores foram evacuados. Cianeto de potássio Tóxico foi lançado para dentro do rio Huashui, contaminando-aproximadamente 5 Km a jusante.
14/04/2005	Jackson County, Mississippi, USA	Fosfato	Aumento da capacidade da lagoa em um ritmo acelerado do que o normal	Aproximadamente 17 milhões de litros de ácido, derramou-se em terras pantanosas adjacente, causando a morte da vegetação.

2.4 Operação e Controle das Bacias de Contenção dos Rejeitados

As operações de monitorização e manutenção devem ser executadas de maneira tal que garantam um nível aceitável das condições de segurança da estrutura. Deve ainda ser elaborado um plano de contingência que possa identificar e eliminar danos e, dar respostas técnicas às emergências que poderão surgir. O surgimento de ações como aerodispersão de partículas, drenagem mineira ácida (DMA), contaminação da água subterrânea, deslizamento de talude e instabilidade da fundação, trazem grandes problemas ao ambiente e com maior realce às populações que habitam ao redor do empreendimento. No entanto, torna-se importante a preparação e a implementação de um manual de operações, monitorização e manutenção, contendo informações suficientes e adequadas para possibilitar a estrutura manter-se segura e fornecer sinais antecipados de anomalias.

As monitorizações de estruturas de contenção de rejeitados devem ser realizadas de forma planeada: monitorização de rotina (são aquelas que devem ser executadas por equipas qualificadas com uma frequência de uma semana ou mês, apresentando eventuais problemas encontrados), monitorizações formais (aquelas que são feitas semestralmente ou anualmente) e monitorizações especiais (efetuadas nos intervalos de 5 anos, por uma equipa multidisciplinar). As manutenções são dirigidas para controlar a percolação e a erosão, e para prevenir a instabilidade da fundação e o desenvolvimento de caminhos preferenciais de percolação, ou são realizadas com base na observação visual inicial dos potenciais problemas; seguidamente, são efetuadas operações de manutenção para manter a estabilidade da estrutura, o controlo da infiltração e reduzir ou manter os custos.

No entanto, a monitorização de rotina e a manutenção preventiva são fundamentais para garantir o bom desempenho das bacias de contenção de rejeitados; esta monitorização pode consistir em observação visual ou por instrumentos; enquanto a manutenção tem por objetivo preservar a estabilidade de taludes, controlar a vegetação e as tocas de animais no talude, reparar o sistema de drenagem e a remoção de entulhos a montante, a fim de garantir a operacionalidade da estrutura. Mas, para que estes procedimentos tenham sucesso, na interpretação dos resultados obtidos nas operações, é ideal ter em consideração as indicações da instrumentação (piezómetros, medidores de pressão, inclinómetros, extensómetros, células de tensões totais, etc).

2.5 Parâmetros Utilizados nas Análises Geotécnicas

Para fazer análise do comportamento de um rejeito mediante as ações externas, e consequentemente habilitarem uma segurança à estrutura, deve identificar-se o tipo de rejeitado que está a ser armazenado, isto é, composição granulométrica, índices físicos (densidade e teor em água, índice de vazios e índice de compactidade), permeabilidade, forças de corte, ângulo de atrito crítico e composição mineralógica, determinando estes valores através de ensaios *in situ* e em laboratório.

2.5.1 Composição Granulométrica

Fernandes (2011) define no seu livro, a composição granulométrica é a distribuição em percentagem ponderal (isto é, em percentagem do peso total) das partículas do solo de acordo com as suas dimensões. Para conhecer a granulometria de um solo ou fazer uma análise granulométrica utiliza-se o método de peneiração para partículas de tamanhos maiores que 0,075 mm e sedimentação para tamanhos inferiores que 0,075 mm (processos bastantes morosos e trabalhosos, podendo ainda ser feito por granulómetros que procedem à análise granulométrica através de varrimento do solo com raios laser).

Para realização de ensaios por peneiração e sedimentação, recolhe-se uma amostra representativa do solo e no laboratório cumpre-se os requisitos realçados no anexo III, da dissertação. Mas em síntese, a amostra seca vai passando por um conjunto de crivos agitados (cujo o tamanho da malha vai diminuindo em progressão geométrica de razão 2), depois pesa-se os solos retidos em cada peneiro, com o peso inicial conhecido determina-se a percentagem do material, C_j , que passa por um tamanho de diâmetro D_j .

$$C_j = \frac{\sum_{i=j+1}^{n+1} P_i}{P} \times 100 \quad (2.1)$$

sendo P o peso total seco da amostra e P_i o peso retido no peneiro de diâmetro D_i . Com estes dados pode se elaborar a curva granulométrica de um solo que relaciona C_j com o logaritmo de D_j (ilustração 2).

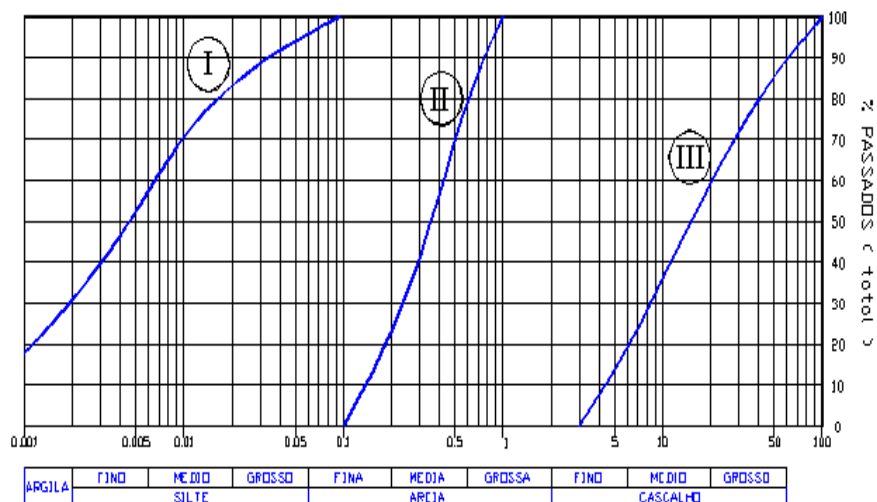


Ilustração 2 - Gráfico usado para representação da curva granulométrica.

Para ter um conhecimento da variedade de dimensões das partículas que um solo possui, utiliza-se o coeficiente de uniformidade **Cu**, que é a relação entre o diâmetro do peneiro pela qual passa 60% do material, **D₆₀** e o diâmetro correspondente a 10%, **D₁₀**.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.2)$$

Tabela 4 - Classificação de solos quanto ao valor do coeficiente de uniformidade

Classificação do solo	Valores de Cu
Uniforme	Igual a 1
Bem graduado	Maior que 4
Pobre ou Mal graduado	Menor que 4

O coeficiente de uniformidade é um indicador da variedade de dimensões que as partículas de um dado solo possuem, quer dizer, quanto maior for o **Cu**, maior será a sua variedade e diz-se, o solo é bem graduado. Caso contrário, **Cu** baixo, corresponder a um solo de granulometria mal graduada.

Para classificar os solos quanto a sua aplicação como material de aterros para estradas, aeródromos e bacia de contenção dos rejeitados mineiros, utiliza-se a classificação unificada de solos. Nesta secção da dissertação iremos apresentar a tabela 5 dos solos com granulometria grosseira e a tabela 6 que explica o comportamento dos solos quando utilizado em obras de aterros.

Tabela 5 - Classificação unificada de solos (ASTM D 2487-85)

Solos grossos Mais de 50% retido no peneiro nº 200	Cascalho % Cascalho > % Areia	Cascalho limpo; % Finos < 5	$C_u > 4$ e $1 \leq C_c \leq 3$ $C_u \leq 4$ e [$C_c < 1$ ou $C_c > 3$]	GW GP	Cascalho bem graduado Cascalho mal graduado
		5 ≤ % Finos ≤ 12	$C_u > 4$ e $1 \leq C_c \leq 3$ e finos ML ou MH	GW – GM	Cascalho bem graduado com silte
			$C_u > 4$ e $1 \leq C_c \leq 3$ e finos CL ou CH ou CL – ML	GW - GC	Finos CL ou CH: cascalho bem graduado com argila. Finos CL-ML: cascalho bem graduado com argila siltosa
			$C_u \leq 4$ e [$C_c < 1$ ou $C_c > 3$] e finos ML ou MH	GP - GM	Cascalho mal graduado com silte
			$C_u \leq 4$ e [$C_c < 1$ ou $C_c > 3$] e finos CL ou CH ou CL-ML	GP - GC	Finos CL ou CH: cascalho mal graduado com argila Finos CL-ML: cascalho mal graduado com argila siltosa
		Cascalhos com finos % finos > 12	Finos ML ou MH	GM	Cascalho siltoso
			Finos CL ou CH	GC	Cascalho argiloso
			Finos CL-ML	GC -GM	Cascalho argilo-siltoso
	Areia % Areia ≥ % cascalho	Areias Limpas % finos < 5	$C_u \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3$ $C_u < 6$ e [$C_c < 1$ ou $C_c > 3$]	SW SP	Areia bem graduada Areia mal graduada
		5 ≤ % finos ≤ 12	$C_u > 6$ e $1 \leq C_c \leq 3$ e finos ML ou MH	SW - SM	Areia bem graduada com silte
			$C_u > 6$ e $1 \leq C_c \leq 3$ e finos CL ou CH ou CL -ML	SW - SC	Finos CL ou CH: areia bem graduada com argila. Finos CL –ML areia mal graduada com argila siltosa.
			$C_u \leq 6$ e [$C_c < 1$ ou $C_c > 3$] e finos ML ou MH	SP -SM	Areia mal graduada com silte
			$C_u \leq 6$ e [$C_c < 1$ ou $C_c > 3$] e finos CL ou CH ou CL-ML	SP -SC	Finos CL ou CH: areia mal graduada com argila Finos CL –ML: areia mal graduada
		Areias com finos % finos > 12	Finos CL ou CH	SC	Areia argilosa
			Finos ML ou MH	SM	Areia siltosa
			Finos CL-ML	SC -SM	Areia argilo-siltosa

Nota: C_c – coeficiente de curvatura, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$

Tabela 6 - Principais comportamentos de solos em obras de aterros (Lambe & Whitman, 1979)

Símbolo	Permeabilidade quando compactado	Resistência ao corte quando saturado	Compressibilidade quando compactado e saturado	Trabalhabilidade como material de construção
GW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
GP	Muito permeável	Boa	Desprezável	Boa
GM	Semi – permeável a impermeável	Boa	Desprezável	Boa
GC	Impermeável	Boa a razoável	Muito baixa	Boa
SW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
SP	Permeável	Boa	Muito baixa	Razoável
SM	Semi – permeável a impermeável	Boa	Baixa	Razoável
SC	Impermeável	Boa a razoável	Baixa	Razoável
ML	Semi – permeável a impermeável	Razoável	Média	Razoável
CL	Impermeável	Razoável	Média	Boa a razoável
OL	Semi – permeável a impermeável	Má	Média	Razoável
MH	Semi – permeável a impermeável	Razoável a má	Alta	Má
CH	Impermeável	Má	Alta	Má
OH	Impermeável	Má	Alta	Má

2.5.2 Condutividade Hidráulica

Chama-se condutividade hidráulica, **k**, de um solo, ao parâmetro que mede a facilidade com que a água circula no solo; e este parâmetro depende da:

- ❖ Distribuição do calibre dos grãos dos solos e dos seus poros; quanto menores forem as partículas, menor será a condutividade hidráulica;
- ❖ Densidade do solo, para uma mesma granulometria, quanto mais denso for o terreno, menor será o índice de vazios e paralelamente será a condutividade hidráulica;
- ❖ Forma e orientação das partículas, já que as condições de sedimentação dão lugar as orientações preferenciais, a condutividade hidráulica poderá variar substancialmente em função da direção do fluxo.

Tabela 7 - Classificação dos solos quanto à condutividade hidráulica (Terzaghi & Peck, 1967).

Condutividade	Coefficiente de condutividade hidráulica (m/s)
Alta	$\geq 10^{-3}$
Média	10^{-3} a 10^{-5}
Baixa	10^{-5} a 10^{-7}
Muito baixa	10^{-7} a 10^{-9}
Praticamente impermeável	$\leq 10^{-9}$

Existem expressões empíricas, que correlacionam uma avaliação da permeabilidade de solos com outras características, como a de Hazen (1892 e 1930) citado por Fernandes (2011), que propôs a proporcionalidade de k , em relação ao quadrado de D_{10} , designado como diâmetro efetivo do solo e C um valor da ordem de 10000 (variando três ordens de grandezas Mansur e Kaufman, 1962; Lambe & Whitman, 1979; define este valor em 100 a 100000).

$$k \text{ (m/s)} = C \times (D_{10})^2 \text{ (m)} \quad (2.3)$$

No entanto, é importante realçar que a condutividade hidráulica pode ser obtida por ensaios de bombagem permanentes em poços, em laboratório (ensaio de permeâmetros de carga constante, permeâmetro de carga variável e ensaios endométricos).

2.5.3 Propriedades Físicas do Solo

Para verificar o estado inicial de um solo, empregam-se várias propriedades de determinação das concentrações relativa de sólidos e água. Entre estas destacam-se os seguintes parâmetros:

- ❖ Peso específico de partículas, G_s , é o valor médio correspondente de diversas partículas. Determina-se no laboratório mediante um volume que ocupa uma amostra de partículas deslocando um volume de líquido num recipiente previamente pesado e cheio de água (picnômetro). Geralmente atinge valores da ordem de 25 a 27 kN/m³, apesar de em certos solos vulcânicos com minério de ferro chega a ser 30 a 31 kN/m³.

- ❖ Peso específico aparente seco, γ_d , é a relação entre o peso de sólidos da amostra (sem considerar a água que ela possui) e o volume aparente que ocupa o elemento de referência. Os seus valores podem variar normalmente entre 13 a 19 kN/m³, em alguns solos vulcânicos e depósitos eólicos alcança 6 a 12 kN/m³.

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1 + e} \quad (2.4)$$

- ❖ Peso específico aparente saturado, γ_{sat} , é a relação entre o peso de sólido mais o peso de água nos vazios e o volume aparente do mesmo. Os solos variam de 16 a 21 kN/m³, em alguns casos especiais apresentam valores muito baixo.

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e\gamma_w}{1 + e} \quad (2.5)$$

- ❖ Peso específico aparente do solo, γ_{ap} , é a relação entre o peso da amostra (sólido e água que está contida nela) e o seu volume aparente; o solo varia entre 15 a 21 kN/m³.

$$\gamma_{ap} = \gamma_d(1 + w) \quad (2.6)$$

- ❖ Peso específico da água, γ_w , é o peso intersticial do fluido, equivalente a 9,81 kN/m³.
- ❖ Teor em água, W , é a relação entre o peso da água contida na amostra e o peso dos sólidos a ser determinado depois da secagem na estufa.
- ❖ Grau de saturação, S_r , é a relação entre o peso da água que contém a amostra e o que conteria se estivesse saturado (W_{sat}). Varia de 0 a 100%.

$$S_r = \frac{W}{W_{sat}} \quad (2.7)$$

- ❖ Quando um conjunto de partículas grossas, representada pela sua curva granulométrica, assume números infinitos de arrumações, os intervalos produzido nestas arrumações são designados por índices de vazios (são a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos). Se os solos forem bem graduados ou apresentar uma gama variada de dimensão, são designados em

índices de vazios máximo e mínimo ($e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}$). Elas revelam a história de tensões do solo, associada à respetiva história geológica (índices de vazios natural, e , e Porosidade n).

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (2.8)$$

- ❖ Índice de compacidade, I_d , é um parâmetro útil para fornecer indicações de maior ou menor suscetibilidade dos solos experimentar em deformações volumétricas quando carregado, ou sua compressibilidade.

$$I_d = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \quad (2.9)$$

- ❖ Porosidade, n , é a relação entre o volume de vazios e o volume total do elemento considerado, ou seja o seu volume aparente.

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (2.10)$$

Tabela 8 - Propriedades do estado dos solos de calibre grosseiro (Vallejo, 2002)

Solos maior que 0,075 mm	Índice de compacidade (%)	Peso volúmico seco, γ_d (kN/m ³)	Teor em água (%)	Índices de vazios
Muito solta	0 - 20	< 14	> 16	> 0.9
Solta	20 - 40	14 - 16	12 - 16	0,65 - 0,9
Medianamente compacta	40 - 60	16 - 17,5	8 - 12	0,55 - 0,65
Compacta ou densa	60 - 80	17,5 - 18,5	6 - 8	0,4 - 0,55
Muito compacta ou densa	80 - 100	> 18,5	< 6	< 0,4

2.5.4 Resistência ao Corte

A resistência ao corte de um solo é um parâmetro único e constante, por depender da sua natureza, estrutura, nível de deformações, ligações, os estados das tensões e as pressões dos fluidos (água e ar) nos poros (Vallejo, 2002). Fernandes (2011), afirma que a maioria dos solos experimentam a rotura de acordo com o chamado critério de Mohr Coulomb, que um solo entra em rotura num ponto quando num par de facetas, ou planos que passam nesse ponto, é atingida uma dada relação entre a componente normal, σ_f' , e a componente tangencial, τ_f , da tensão, expressa por:

$$\tau_f = C' + \sigma_f' \times \text{Tan}\phi' \text{ ou } \tau_f = C' + (\sigma_f' + u) \text{Tan}\phi' \quad (2.11)$$

onde ϕ' representa o ângulo de atrito ou ângulo de resistência ao corte, C' é a chamada coesão efetiva e o índice f das componentes de tensão destina-se a indicar a rotura.

O sistema de eixos onde existem uma fronteira que separa os estados de tensão compatíveis com a resistência do solo daqueles em que não pode suportar, designa-se por envolvente de rotura e a sua equação corresponde ao chamado critério de rotura (Fernandes, 2011).

2.5.5 Curvas de Compactação

A compactação é um método de estabilização e melhoria do solo através do processo manual ou mecânico, com objetivo de reduzir o volume de vazios do solo. Assim sendo, a mesma exerce uma influência significativa no aumento do contato entre os grãos e torna o aterro mais homogêneo, melhorando, desta forma, as características de resistência, de deformabilidade e de permeabilidade do solo.

As curvas de compactação são obtidas mediante os ensaios de proctor. Estas consistem na determinação do peso volúmico seco máximo e no teor em água ótimo para qual o solo alcança, ao ser compactado. Nos ensaios de proctor, o solo é compactado num molde cilíndrico com uma amostra remexida de solo seco ao ar. Seguidamente faz-se a mistura do solo remexido com água para adquirir um teor em água aceitável; depois compacta-se o solo com um número determinado de golpes para cada camada, com um pilão que cai a uma determinada altura. A energia específica de compactação é definida pela equação 2.12 e a tabela 9.

$$E_c = \frac{W_p \times h \times n \times c}{V} \quad (2.12)$$

em que o W_p é o peso do pilão, h a altura de queda, n o número de golpes por cada camada de solo, c o número de camadas e V o volume do molde cilíndrico.

Depois da realização do ensaio determina-se o peso volúmico seco de cada amostra, pela equação 2.13 com seis valores obtidos do peso volúmico seco pode definir-se a curva de compactação, da qual se tiram as condições ideais a alcançar na estrutura e ótima de compactação (peso volúmico seco máximo e o teor em água ótimo que corresponde a 80-90 % de grau de saturação). A equação utilizada para determinar o peso volúmico seco de cada amostra com o teor em água, caso o ar tenha sido expulso é:

$$Y_d = \frac{G_s \times Y_w}{1 + G_s \times Y_w} \quad (2.13)$$

onde o G_s é a densidade das partículas sólidas e Y_w é o peso volúmico da água.

Tabela 9 - Elementos essenciais dos ensaios de compactação (Fernandes, 2011)

Itens	Grandezas (Unidades)	Ensaio Normal ASTM D698		Ensaio Modificado ASTM D 1557	
		Molde pequeno	Molde grande	Molde pequeno	Molde grande
Molde	Diâmetro interior (mm)	101,6	152,4	101,6	152,4
	Altura (mm)	116,4			
	Volume (cm ³)	944	2124	944	2124
Pilão	Peso (Kgf)	2,50		4,54	
	Altura de queda (cm)	30,5		45,7	
Golpes	Nº por camada	25	56	25	56
	Nº de camadas	3		5	
Energia específica (N.cm/cm ³)		60		270	

2.5.6 Propriedades Físico-químico da Água

Na caracterização da água são determinadas normalmente diversas variáveis físicas, química e biológica, indicadores fundamentais na distinção da qualidade da água proveniente do processo de tratamento de minérios e as que poderão ser lançadas nos rios pelos débitos de drenagens da bacia de contenção. Por isso, o conhecimento dos parâmetros físico-químico torna-se um fator preponderante na agnição da intensidade do impacto ambiental em que está submetido o sistema ecológico e as populações adjacente à bacia de contenção dos rejeitados, resultante da descarga da água.

As características físicas e químicas utilizadas com maior ênfase na descrição da qualidade da água das bacias de contenção dos rejeitados, são:

- ❖ Condutividade, é a variável que mede a capacidade de uma solução aquosa ser condutora da corrente elétrica. Depende da presença de concentrações iónicas, temperatura, mobilidade e da valência dos iões presentes;
- ❖ Dureza total, é a soma das concentrações de cálcio e magnésio, expresso em carbonato de cálcio, nas unidades de miligrama por litro. Age como um modificador abiótico da toxicidade dos metais, isto é, a toxicidade pode aumentar em virtude do aumento da dureza;
- ❖ Metais pesados, é a soma das concentrações de metais nas partículas finas. Eles podem ser acumulados nos tecidos humanos por exposição crónica, pelo consumo de animais e plantas cujos metais pesados se acumularam, ou exposições agudas, causando problemas à saúde se ultrapassar os níveis da dose de referência que o organismo necessita e suporta;
- ❖ Sólidos totais em suspensão, é o termo aplicado para a quantidade de sólidos não dissolvidos numa amostra de água e retido em um filtro de poros (0,45 ou 0,20 μ);
- ❖ Temperatura, este parâmetro é influenciada pela altitude, latitude, estação do ano, período do dia e os débitos de drenagem;
- ❖ Turbidez que pode ser de origem do material (areia, silte e argila) drenado pelo tubo de vazão e as válvulas de descarga;
- ❖ Oxigénio dissolvido, que resulta do balanço de entrada do oxigénio da atmosfera, fotossíntese aquática e o consumo do oxigénio consequente das reações de oxidação química e biológica.
- ❖ Potencial de hidrogénio, pH, é a variável que calcula a quantidade de iões de hidrogénios livre (H^+) na água. Ela influencia diretamente o ecossistema aquático, por causa dos efeitos na fisiologia de algumas espécies e, em algumas condições, contribuir indiretamente na precipitação dos metais pesados (medido através do pH).

2.6 Legislação Aplicável ao Controle da Bacia de Contenção dos Rejeitados Mineiro

2.6.1 Austrália

Na Austrália os preceitos legais para as bacias de contenção de rejeito estão revelados em orientações específicas (*guidelines*), com o objetivo de incentivar a indústria de mineração a fazer uma abordagem completa no planeamento das estruturas de contenção de rejeitados, auxiliar as etapas de projeto, construção, operação (apresentando métodos sistemático de classificar e adequar-se a situações normais e anormais) e desativação de modo adquirir eficientemente resultados ambientais aceitáveis (AUSTRALIAN EPA, 1995).

2.6.2 EUA e Canada

A legislação dos EUA é prescritiva em termo de aspetos ambientais, qualidade de água. Em oposição, não apresenta procedimentos de gestão das indústrias de mineração centrando-se num programa de inspeção, relatórios mensais, anuais e manuais de operação, dando possibilidade aos construtores e projetista das indústrias mineradora de traçar um programa de gestão que irá adequar-se às condições do local, do mineral a ser processado e os problemas envolvidos nas operações de monitorização e manutenção da bacia de contenção dos rejeitados.

Os legisladores no Canada providenciaram um guia de gestão das bacias de rejeito com o objetivo de melhorar a gestão das estruturas de água e rejeitados em todo seu ciclo de vida, ajudar as empresas de mineração a adaptar regras ambientais e de segurança. No guia estão divulgados recomendações de planeamento, construção, operação, desativação e encerramento das barragens de rejeitados, bem como a identificação detalhada da administração das ações operacionais, responsabilidade, medição do desempenho, programação e considerações técnicas (manual de operações, manutenção e inspeção).

2.6.3 África do Sul

Na África do Sul, as normas de bacias de contenção de rejeito exigem que as empresas de mineração preparem uma descrição sucinta na fase de planeamento acerca da gestão ambiental e regulamentos. Tem como objetivo de mostrar as exigências mínimas de administração de boas práticas que possam garantir a inexistência de problemas para as populações e o ambiente adjacente à estrutura, isto através das coordenações exaustiva no projeto, construção, operação (manutenção e inspeção) e a desativação do empreendimento.

2.6.4 Brasil e Portugal

Os preceitos legais do Brasil acerca das bacias de rejeitados abarcam as barragens de acumulação de água, e pauta numa exigência de conhecimento técnico (elaboração de projeto, operações e manutenção, escolha de profissionais, instalações, equipamentos, fiscalização, monitorização e inspeção, instrumentação) e parâmetros mínimos utilizados na elaboração de estudos e projetos (previsão de enchentes, estudo geotécnico, vazão máxima prevista, detalhes das fundações e estabilidade da estrutura).

A legislação Portuguesa revela as normas de controlo de segurança na fase de projeto, construção, exploração e abandono das bacias de rejeitados. Também apresenta normas da qualidade das águas residuais que possam ser descartadas, e preceitos legais que conduzam à execução de estimativas das quantidades anuais dos rejeitados originados pelo processo de tratamento de minérios para cada ano do período de funcionamento previsto da instalação.

A mesma legislação define ainda, que deve ser caracterizado os rejeitados a depositar, através de recolha de informação da atividade de extração na lavra, do processamento de minério e os resíduos gerado nestas atividades, da natureza da rocha circundante, sua química e mineralogia, da geometria e dimensão do depósito. E consequentemente, a identificação dos parâmetros adequados para avaliar as características físicas intrínsecas dos rejeitados (granulometria, densidade do solo, densidade das partículas e teor em água, resistência ao corte e ângulo de atrito, permeabilidade e índices de vazios, etc.).

O sistema de gestão das bacias de rejeitados (organização do pessoal, controlo operacional, planeamento de situações de emergências, monitorização, auditoria e análise) inclui-se na parte do sistema geral de administração da estrutura organizativa,

responsabilidade de controlo técnico, boas práticas e procedimentos, processos e recursos necessários para a definição e aplicação da política de prevenção de acidentes graves.

2.6.5 Angola

A legislação vigente em Angola, o código mineiro, não revela as medidas de controlo e segurança das bacias de contenção dos rejeitados mineiros. Mas apresenta como uma exigência legal, a preservação do ambiente, a construção de bacias de decantação, a criação de circuitos de recirculação da água de modo a permitir o reaproveitamento da mesma nas várias fases da produção mineira, analisar regularmente a água em diversos pontos dos rios dentro da concessão, de modo a permitir o controlo da qualidade da mesma. Porém a construção de bacias de contenção de rejeito mineiro deve obedecer a critérios tecnicamente definidos pelos projetistas, para que a exploração da estrutura das bacias seja feita em segurança; por quanto a ausência de normas e procedimentos nas fases de construção, monitorização e manutenção, poderá acarretar consequências negativas sobre a fauna, a flora, bem como a poluição e contaminação dos cursos de águas, colocar em risco a vida das populações residentes.

CAPÍTULO 3

Diagnóstico da área de influência

Da

Sociedade Mineira de Catoca

3 Diagnóstico da área de influência da Sociedade Mineira de Catoca

3.1 Apresentação da empresa

A Sociedade Mineira de Catoca é uma empresa de prospecção, exploração, tratamento-beneficiamento e comercialização de diamantes, erguida por iniciativa do governo Angolano para explorar o primeiro kimberlito, de direito angolano e capital misto. Os sócios que formam Catoca, são:

- ❖ ENDIAMA, empresa angolana de capital público, com 32,8% de acções;
- ❖ ALROSA, empresa Russa de capital público, com 32,8% de acções;
- ❖ LEV LEVIEV, empresa Israelita de capital privado com 18,0% de acções;
- ❖ ODEBRECHT, empresa Brasileira de capital privado, com 16,4% de acções.

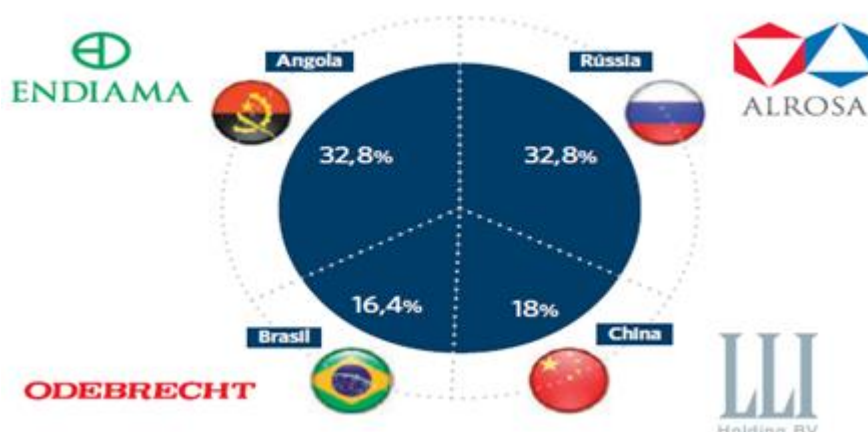


Ilustração 3 - Estrutura de acionistas da Sociedade Mineira de Catoca (Relatório Catoca, 2012)

A sociedade mineira de Catoca tem 64 hectares de área de concessão, constituída por uma vila residencial e vários empreendimentos de suporte ao processo de exploração. Emprega cerca de 3500 trabalhadores, dos quais 80 % são de nacionalidade angolana e o restante distribui-se entre Russos, Brasileiros, Filipinos, Sul Africanos, Israelitas e Portugueses. Atualmente a empresa tem desenvolvido esforços no sentido de descobrir novos jazigos, através da prospecção dentro e fora da zona de concessão, sendo efetuada em Angola e no estrangeiro, para dar continuidade à marca e à sua principal atividade de negócio. As tecnologias como “Smartmine” e “Datamine” optimizam as operações mineiras, simplificam a logística, minimizando os custos e permitindo uma gestão

integral de recursos. A empresa possui duas centrais de tratamento e recuperação de diamantes, com uma capacidade para tratar mais de 10 milhões de toneladas de minério/ano.

No seu plano estratégico de desenvolvimento, a empresa, pauta por um sistema integrado de gestão da qualidade, ambiente, segurança e saúde ocupacional. Este plano apoia-se nas seguintes diretivas:

- ❖ Ser uma empresa competitiva e rentável, atendendo às expectativas dos clientes, acionistas e as restantes parte interessadas, respeitando os requisitos legais e outros aplicáveis;
- ❖ Melhorar continuamente a eficácia do sistema integrado de gestão buscando a redução dos impactos ambientais, a prevenção de acidentes, lesões e doenças ocupacionais;
- ❖ Desenvolver as atividades de gestão dos riscos relacionados com a segurança e a saúde ocupacional, abrangendo os perigos químicos, físicos, ergonómicos e mecânicos, com realce nos trabalhos com eletricidade, trabalho em alturas, máquinas, equipamentos, instalações, detonações e escavações;
- ❖ Buscar o uso eficiente de energia e recursos naturais, bem como gerir os resíduos industriais, estimular a redução do consumo, a reutilização, a reciclagem de materiais e a prevenção da poluição;
- ❖ Respeitar o trabalhador visando o seu crescimento humano, profissional e também a comunidade, desenvolvendo a responsabilidade social e ambiental;
- ❖ Efetuar a pesquisa constante de soluções inovadoras que permitem alcançar níveis mais elevados de qualidade a custos competitivos dentro do tempo necessário;
- ❖ Otimizar a formação de recursos humanos em todos níveis e a partilha de projetos de formação;
- ❖ Trabalhar em parceria com os seus fornecedores, empresas de prestação de serviços e sub empreiteiros para um contínuo desenvolvimento em busca da melhoria contínua do desempenho ambiental, segurança e saúde ocupacional;
- ❖ Desenvolver e implantar novas tecnologias no processo produtivo, tendo como objetivo a melhoria continua dos processos e a sua eficiência, não colocando em risco o ambiente, segurança e a saúde ocupacional.

3.2 Aspetos Histórico

A Sociedade Mineira de Catoca – SMC, é uma empresa, cujo objeto social é a prospeção, pesquisa, exploração e comercialização de diamante, na província da Lunda - Sul, assume o compromisso de garantir que as atividades de sua operação sejam desenvolvidas com a preservação do ambiente, a segurança, saúde de seus empregados e de seus prestadores de serviços.

O kimberlito de Catoca foi descoberto em 1968 pelos técnicos da Diamang, que prospetavam blocos aluviais nas margens do rio Lova, afluente do rio Chicapa. Em 1981 a Endiama substituiu a Diamang na gestão das reservas nacionais de kimberlito e nessa mesma época a Iakutalmaz, estatal soviética especializada em projetos de mineração de diamantes, manifestou interesse em participar na exploração, em Angola.

Ao longo da década 1980, foram realizados estudos geológicos no sentido de perceber a viabilidade técnica e económica da exploração do kimberlito, tendo sido concluída a primeira revisão no período de 1985 – 1987, que confirmou os teores e a qualidade dos diamantes. Em Dezembro de 1991 os estudos de viabilidade foram concluídos e no ano seguinte o governo de Angola aprovou a constituição da sociedade mineira de Catoca por três empresas - Alrosa (40%), Odebrecht 20% e Endiama 40%. Em 16 de Setembro de 1993 estas três empresas assinaram o contrato da constituição da sociedade mineira de Catoca. A partir de 1995 chegou a Catoca a primeira equipa de trabalho, tendo sido iniciado o levantamento topográfico, o estudo hidrogeológico, a capacitação de mão-de-obra, a captação e tratamento de água.

A exploração comercial do kimberlito de Catoca começou em 31 de Julho de 1997, quando o primeiro carregamento de minério entrou na central de tratamento 1, dando início a uma produção em pequena escala, porém essencial para a capitalização da empresa. Em 1999 foi instalado o sistema de irrigação para o projeto agropecuário e implantado o sistema integrado privativo de telecomunicações com instalações terrestre e satélite. Já em 18 de Novembro de 2005 foi inaugurada pelo Presidente da República, o engenheiro José Eduardo dos Santos, a segunda central de tratamento de minérios.

No entanto, a bacia de rejeitado em estudo, entrou em exploração às 14h30 do dia 06/06/2005, projetada para o tempo de vida útil da mina, com capacidade para receber um volume de 180000000 m³.

3.3 Aspetos Socioeconómico

A província da Lunda Sul está localizada na região leste de Angola, tendo como limites geográficos a norte, a província da Lunda Norte, a oeste as províncias de Malange, Lunda Norte e Bié, a sul a Província do Moxico e a este a República Democrática do Congo (Zaire). Tem uma superfície de 77637 km², uma população maioritariamente constituída pela etnia Cokwe, de origem Bantu, bem como os Lunda, os Minungo, os Xinge e Bangala, que estão distribuídas nos quatro municípios (Kakolo, Muconda, Dala e Saurimo) e dez comunas, possui aproximadamente 400000 (Quatrocentos Mil) habitantes e uma densidade populacional de 6 Habitantes/km². Além das indústrias de extração mineral, as populações praticam agricultura, pecuária e pesca artesanal.

Para agregação de valor à sociedade e desenvolvimento económico da região onde está inserido, satisfazendo consideravelmente os planos estratégicos e o desenvolvimento sustentável, a sociedade mineira de Catoca implementa várias ações que visam conduzir o crescimento das comunidades residentes, através de programa de merenda escolar, abastecimento de água canalizada, programa de educação, construção de escolas e centros infantis comunitários, desporto (nas modalidades de basquetebol, andebol, ténis, atletismo e futebol), cultura (escola de teatro e dança) e lazer (jangos comunitários e cinema móvel), saúde (programas de prevenção à SIDA e às doenças sexualmente transmissíveis, planeamento familiar, prevenção ao cancro uterino e à surdez ocupacional, e programas de contenção da malária), agropecuária e fomento de empresariado local com a constituição de 11 novas empresas de prestação de serviços que antes eram geridas pela empresa.

3.4 Localização Geográfica e Vias de Acesso

Em termos administrativo-geográficos, a sociedade mineira de Catoca situa-se no Nordeste da República de Angola, na parte noroeste da província da Lunda Sul, próximo da cidade de Saurimo, numa distância de 35 km e cerca de 800 km de Luanda (ilustração 4). O território da área de concessão da SMC encontra-se dentro da folha topográfica 121-SG34 (escala 1:1000000) do Cadastro Topográfico do Estado, numa região situada nos limites entre as Lundas Norte e Sul, e ocupa uma área de 340 km², delimitada por coordenadas geográficas.

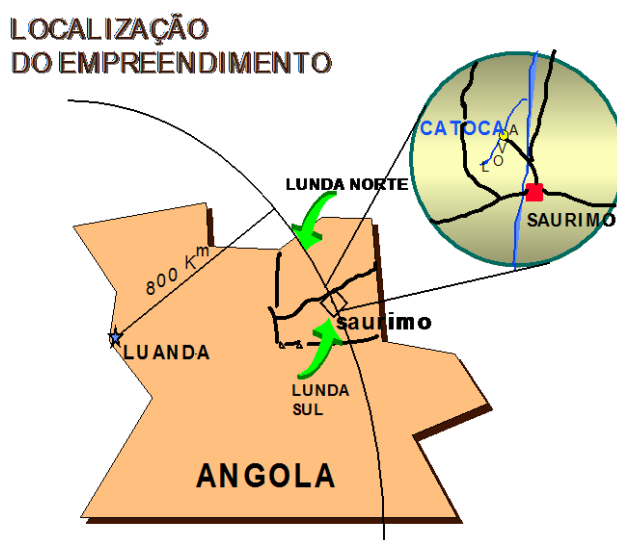


Ilustração 4 - Localização geográfica de Catoca

Tabela 10 - Coordenadas Geográficas da Zona em Estudo

Coordenadas geográficas			
Pontos	Latitude Sul (X)	Longitude Este (Y)	Altitude (m)
A	9°18'00"	20°15'00"	937
B	9°29'20"	20°24'15"	1005

O acesso à região pode ser feito tanto por via aérea como terrestre. Por via aérea, utilizam-se aviões de grande e pequeno porte que aterram, respetivamente no aeroporto de Saurimo e aeroporto da mina de Catoca (ilustração 5), e por via terrestre, através das estradas nacionais n° 180 que liga as cidades de Saurimo ao Dundu, e estrada nacional 230 entre as cidades de Malange e Saurimo (Lunda Sul). O local de estudo é acessado por uma via principal, asfaltada pela empresa - Catoca, a partir do desvio da estrada nacional n° 180, no bairro do Zorro, diversas vias secundárias, asfaltadas na vila

residencial (ilustração 6) e terra batida que se encontram em constante aspersão de água manutenção nas frentes de trabalho, facilitando deste modo a deslocação das viaturas e eliminação de poeira no empreendimento.



Ilustração 5 - Aeródromo da Sociedade Mineira de Catoca



Ilustração 6 - Estrada da vila residencial na mina de Catoca

3.5 O Clima e o Solo

O clima da região é tropical, favorável para atividade agrícola, pecuária e pesca. A região apresenta as duas principais estações típicas durante o ano: a época das chuvas que perdura do final de agosto até os primeiros dias de maio, e a estação seca (cacimbo) que se prolonga de maio a agosto. A temporada mais chuvosa ocorre nos meses de novembro a março, na qual a estimativa da média anual para a precipitação atmosférica é de 1366 mm. Em relação à temperatura, ao longo do ano esta varia entre os 12°C de mínima e os 34°C de máxima. E por último, a média anual da humidade relativa é de 63%, onde dependendo dos anos, as direções predominantes do vento podem variar de Norte a Nordeste e Sul para Sudoeste.

Muitas vezes os solos são desagregados pelo volume das quedas pluviais, as savanas existentes não os protegem, salvo em algumas modestas manchas que estão cobertas por uma vegetação rasteira. O solo predominante nesta região é o ferralítico, o paraferalítico e os solos fracamente lavados, conforme pode ser visto na ilustração 7.

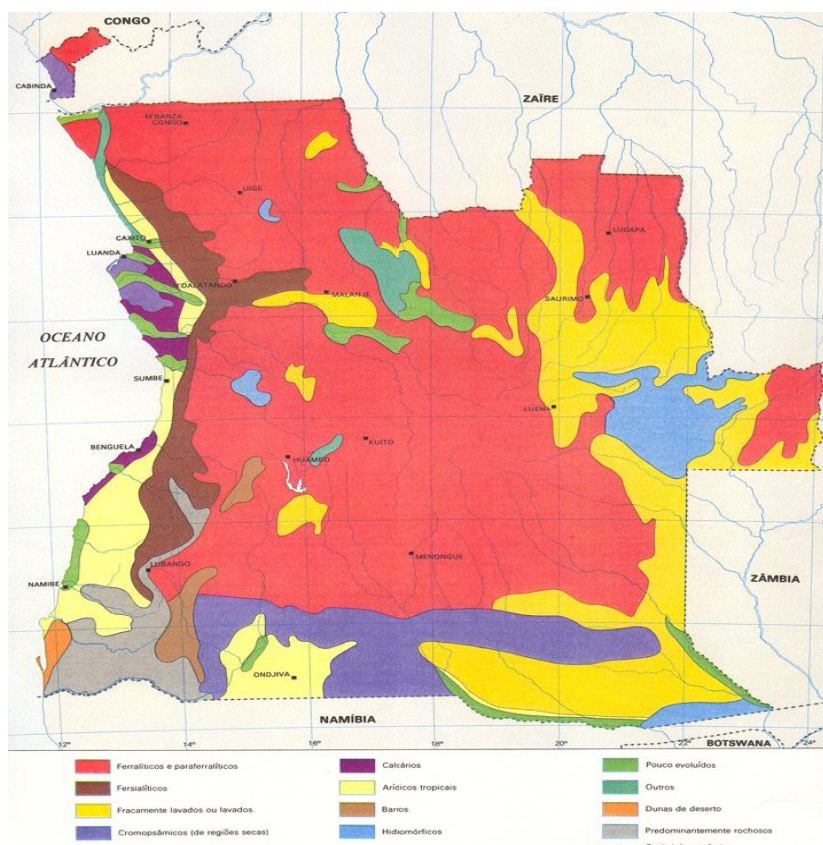


Ilustração 7 - Mapa de solos de Angola

3.6 A Fauna e a Flora

Angola apresenta uma excepcional biodiversidade, devido à grande heterogeneidade de biomas nela representados. Inúmeros fatores contribuem para essa grande diversidade de ambientes representados no país, entre eles, a posição geográfica intertropical, a grande variação nas altitudes e a grande variabilidade geológica. A combinação entre as diferentes condições climáticas e pedológicas produziram cenários biológicos extremamente diversos, compreendendo desde a densa floresta tropical até áreas desérticas.

A região de Saurimo, onde se encontra inserido o empreendimento, caracteriza-se por ser uma zona de transição entre os domínios da savana, ao sul, e da floresta tropical que se estende ao norte, ganhando extensas áreas na República Democrática do Congo. Portanto, não apenas a cobertura vegetal da região, mas também sua fauna, se caracteriza pela grande diversidade de animais: o hipopótamo (*Hippopotamus amphibius*), a palanca-vermelha (*Hippotragus equinus*), a pacaça (*Syncerus caffer*), a eita tunganga (*Tragelaphus strepsiceros*), a quissema (*Kobus defassa*), o leão (*Panthera Leo*), a cabra-de-leque (*Antidorcas marsupialis*), o sacara (*Otocyon megalotis*), os mabecos (*Lycaon pictus*), a geneta (*Genetta angolensis*), o gato-bravo (*Felis silvestris*), o leopardo-caçador (*Acinonyx jubatus*), a hiena-castanha (*Parahyaena brunnea*), a galinha-do-mato (*Numida meleagris*), as serpentes e etc.



Ilustração 8 - Área de savana arborizada

3.7 A Hidrologia

A rede hidrográfica da região está orientada na direção norte, drena as suas águas para o rio Zaire, por intermédio do rio Kassai, um dos seus maiores tributários e cujos afluentes, alimentados por inúmeros sub-afluentes, atravessam a região de sul para o norte. Os principais afluentes do rio Kassai são, de oeste para leste, o Kuango, Cuilo, Luangue, Luxico, Chicapa, Luachimo, Chihumbe e seu afluente Luembe.

Os vales dos rios são abertos e têm formas de U e V. São rios de médio comprimento, frequentemente com pedregais, por isso são impróprios para navegação. Os rios, presente na área de concessão da sociedade mineira de Catoca, possuem recursos hídricos interessantes, destacando-se o rio Lova, que é utilizado para abastecimento de água potável. O rio Luite, que fica localizado na zona adjacente a bacia de contenção de rejeitados. O mais atrativo é o rio Chicapa, que corre ao longo do limite leste da concessão, é utilizado para o aproveitamento hidroelétrico, com uma potência de 17-20 Mega Watt, suficiente para atender às necessidades de Catoca e à cidade de Saurimo (capital da província de Lunda Sul), ilustração 9. O caudal destes rios varia segundo as estações do ano. No período seco (junho-agosto) apresentam um caudal mínimo, enquanto no tempo chuvoso (setembro-novembro), o caudal aumenta consideravelmente.



Ilustração 9 - Quedas do rio Chicapa

3.8 Geologia

3.8.1 Geologia Regional

Em Angola a maior parte das ocorrências kimberlíticas estão localizadas nas seguintes regiões (ilustração 10):

- I. Lundas;
- II. Bacia dos rios Kukumbi, Kukuilo e Kuango;
- III. Curso médio do rio Kuanza;
- IV. Curso superior dos rios Kunene, Keve e Katumbela;

A região das Lundas, que apenas abrange as duas primeiras áreas (I e II) da ilustração 10, é uma das estruturas tectónicas da Região Nordeste de Angola, é composta por duas falhas principais paralelas e orientadas na direção NE-SW. Também é conhecida pela designação de Corredor do alinhamento do Lucapa. As duas linhas principais são atravessadas por várias falhas recentes que terão sido responsáveis pela ascensão das erupções kimberlíticas e outras fontes primárias de diamantes nas Lundas.

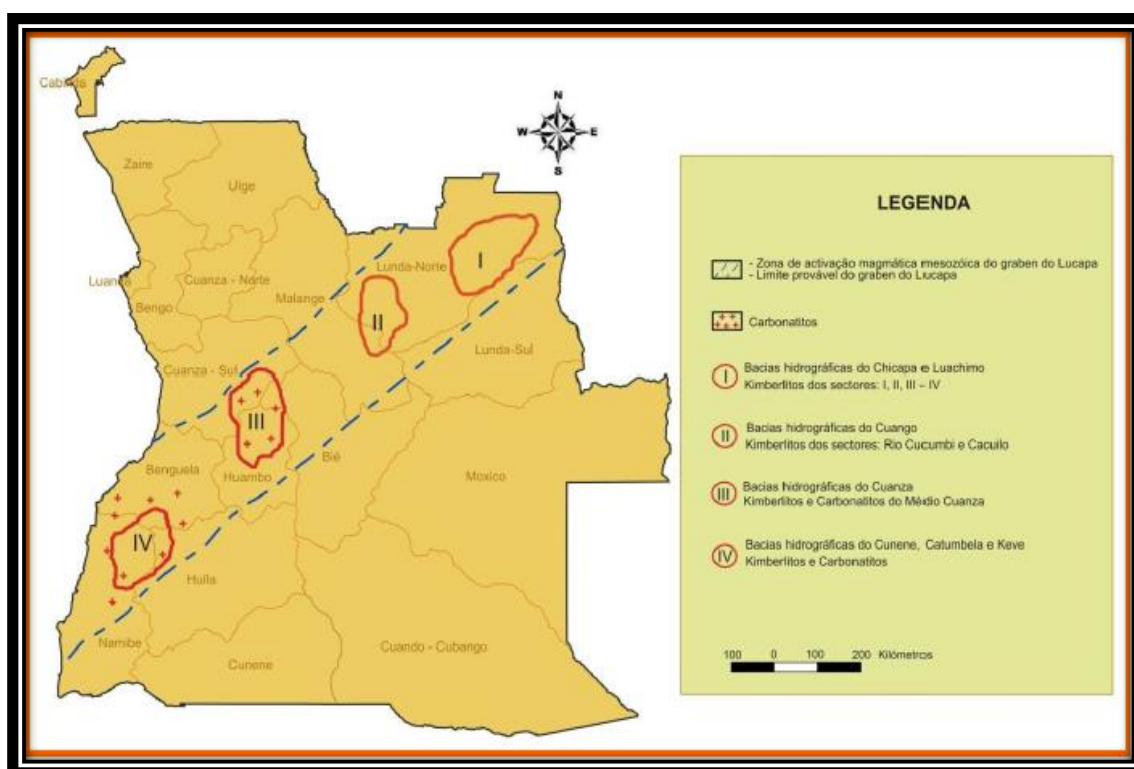


Ilustração 10 - Zonas de ocorrências kimberlíticas em Angola (Moisés, 2003 adaptado pelo Autor).

A região da área de concessão (Lundas) é caracterizada por possuir poucos conhecimentos geológico-geofísicos. As resumidas características esboçadas da região, apresentadas abaixo, são baseadas nos dados disponíveis no Ministério de Geologia e Minas de Angola (Instituto Geológico de Angola), da sintetização e análise das publicações e arquivos técnicos relativos aos resultados de trabalhos executados por diversos projetos, empresas públicas e autores, no período até 1975. Complementados com as informações acerca das atividades de pesquisas geológicas realizadas durante 1978-1983, incluindo os resultados dos levantamentos aerogeofísicos, aerofotometria e levantamentos espaciais, considerando também a interpretação dos dados geológicos sobre as regiões vizinhas.

A região diamantífera das Lundas, segundo Monforte A. (1960), encontra-se no NE de Angola, no escudo de Cassai. Esta região situa-se no corredor de Lucapa, uma mega estrutura tectónica que se estende de NE a SW atravessando Angola, e nela se localizam mais de 900 corpos kimberlíticos. Existem na região dois andares estruturais, o inferior corresponde ao soco cristalino (complexo litológico-estrutural do Arcaico e do Proterozóico Precoces) e o superior que constitui a cobertura da plataforma, representado pelos complexos do Proterozóico Tardio, Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico (ilustração 11).

A região do nordeste de Angola, segundo Araújo A. G. et.al.1992, não é uma unidade geológica bem definida, constituindo uma zona de transição onde se estendem as formações que se ligam, quer com as outras áreas de Angola, quer com a República Democrática do Congo. Assim, as rochas representadas localmente podem agrupar-se em três importantes conjuntos:

- ❖ Rochas do Substrato ou do soco cristalino (Arcaico Inferior e Proterozóico Inferior);
- ❖ Rochas de cobertura (Paleozóico Superior – Mesozóico Inferior, Cretácico e Quaternário);
- ❖ Formações superficiais (Quaternário).

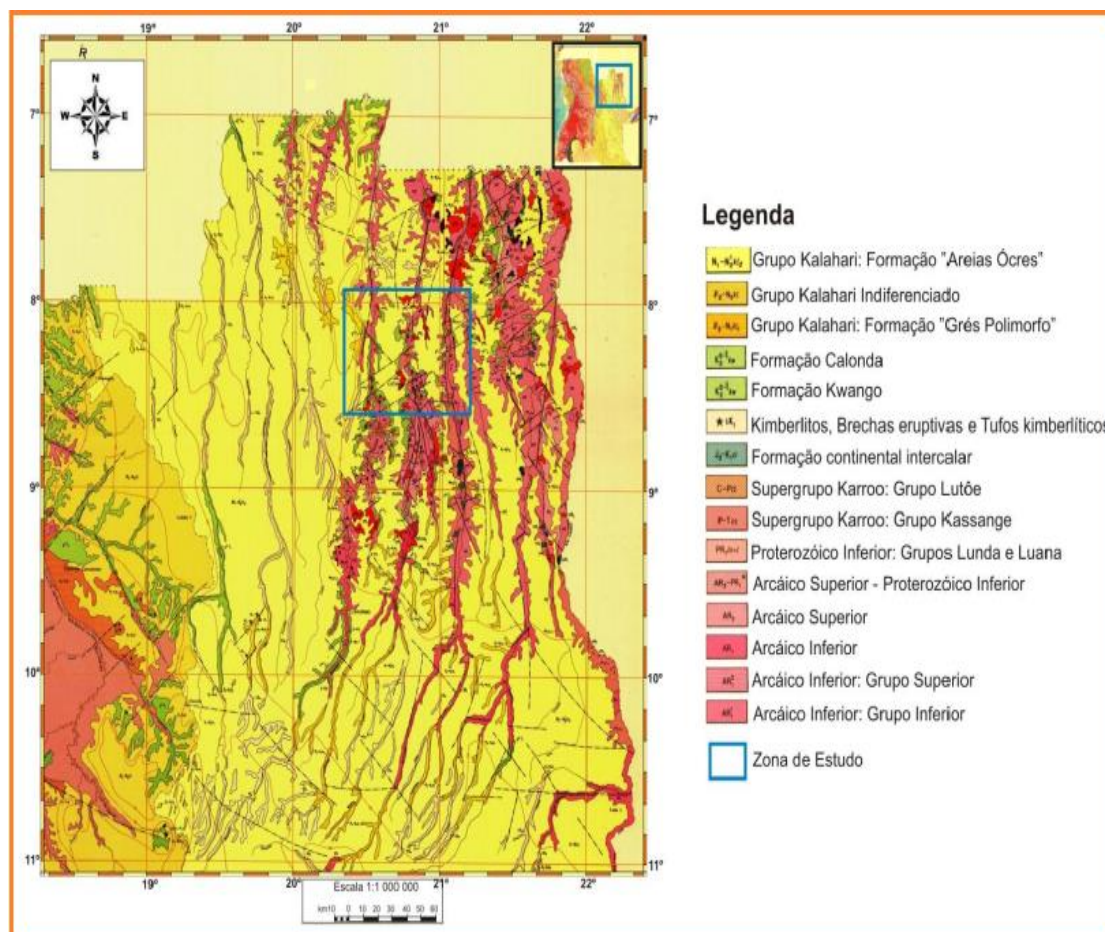


Ilustração 11 - Representação da carta geológica da zona de estudo

As numerosas ocorrências kimberlíticas da idade Cretácica encontram-se na zona regional das fraturas abissais de Lucapa, que tem a direção submeridional e cuja extensão atinge 1.200 km, sendo a largura de 55-85 km. Na parte sudoeste dessa estrutura, além dos kimberlitos, são muito frequentes os depósitos de carbonatitos e de rochas de composição alcalina. As chaminés kimberlíticas situam-se, por regra, nas zonas de cruzamento das fraturas regionais. A primeira tem a direção nordeste, a segunda está direcionada a noroeste. O território mais estudado, em termos de revelação dos corpos kimberlíticos e avaliação das perspectivas dos mesmos, é a área que se estende ao longo dos rios Luembe, Chiumbue, Luachimo e Chicapa. Estruturalmente, essa região abrange a ladeira oeste do escudo Cassai. Nessa área são conhecidas até à data de 2003, mais de 70 chaminés agrupadas em quatro campos kimberlíticos: Kamafuca - Kamazambo (19 chaminés), Kamútue (15 corpos), Kamagia (8) e Catoca (32). O campo kimberlítico de Catoca está localizado na bacia do rio Chicapa, tem a orientação submeridional e das conhecidas no campo, ela é a maior.

3.8.2 Estrutura Geológica do Jazigo

A chaminé de Catoca está localizada na ladeira oeste do escudo Cassai, composto pelo complexo de rochas cristalino pré-câmbrico, atravessado pelos kimberlitos cretácicos. As rochas encaixantes da chaminé são o gnaiss pré-câmbrico de diferentes composições e graus de meteorização, e as rochas sobrejacentes, que são areias de formação paleogéno-neogénica de Kalahari, areias, sedimentos aluviais e arenitos.

Os kimberlitos e as rochas vulcano-sedimentares (RVS) diamantíferas, das fácies crateral do jazigo, estão geneticamente vinculadas à formação do próprio corpo mineralizado, que estão representadas pelos seguintes tipos principais:

- ❖ Brechas kimberlíticas com uma textura maciça do cimento (BKM);
- ❖ Brechas kimberlíticas autolíticas (BKA);
- ❖ Tufos kimberlíticos, brechas tufáceas e tufos gravalitos com intercalações de arenitos tufáceas (BTK);
- ❖ Arenitos, arenitos tufáceas, tufos - aleurólitos, argilitos (RVS);
- ❖ Rochas kimberlíticas da Zona de transição (ZT);
- ❖ Substrato do complexo vulcanogénicos - sedimentar, saturadas em abundância, com os xenólitos do gnaisses encaixante - a chamada zona xenolítica (ZX).

3.8.3 Morfologia e Estrutura Interna do Corpo Mineralizado

A chaminé do kimberlito de Catoca é um corpo kimberlítico, que contém no seu interior mais de 300000000 m³ de produtos de magmatismo kimberlítico. É caracterizada por possuir o conjunto integral de todos os elementos morfológicos (canal de adução, diatrema e cratera) e de todos tipos geológicos genéticos das rochas kimberlíticas (kimberlitos e brechas kimberlíticas com a textura maciça de cimento, brecha kimberlíticas autolíticas, brechas tufáceas kimberlíticas, formações vulcano-sedimentares e epiclásticas de composições mistas). Semelhante à maior parte dos corpos kimberlíticos em Angola, a chaminé de Catoca pertence aos diatremas fracamente erodidas, com o funil preservado, que está preenchida pelas rochas de fácies crateral. A superfície do corpo mineralizado debaixo das formações de cobertura é acidentada em consequência do enchimento incompleto da cratera da chaminé, com o material kimberlítico e corte desigual do corpo kimberlítico já formado pelos processos

erosivos posteriores. As cotas absolutas dessa superfície variam de 950 - 971 m no local do jazigo até 840 m na sua parte central. A forma da chaminé em plano é quase isométrica, irregularmente arredondada, parcialmente achatada pelas rochas encaixante no bloco leste, as suas dimensões na superfície do corpo mineralizado, montam a 990x915m, com área de 636000 m². A transição da cratera para diatrema, está constado na profundidade de 400 m, aproximadamente (cota absoluta de 560 m) onde as dimensões da chaminé são de 430x360 m e a área da secção transversal 136000 m², ilustração12.

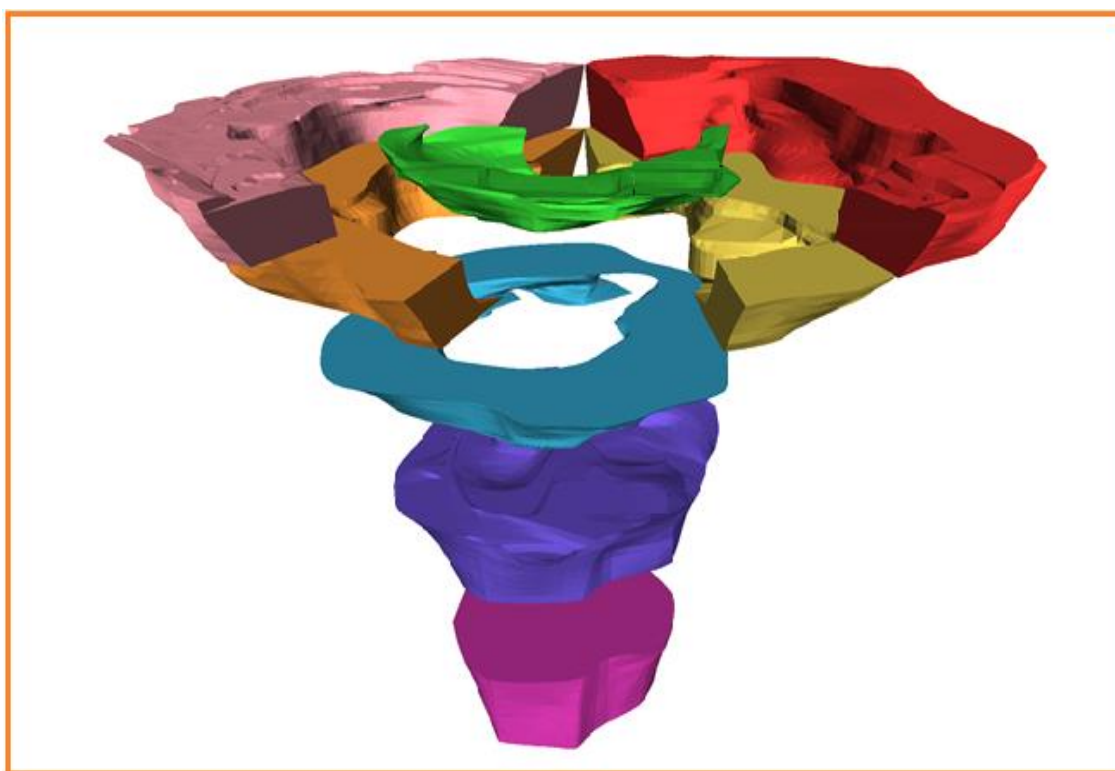


Ilustração 12 - Blocos de exploração/ corpo mineralizado do jazigo

3.8.4 Aspetos Geológico – Genéticos de Formação do Jazigo

Tendo em conta a sua estrutura geológica e a morfologia do corpo mineralizado pode afirmar-se expressivamente, com uma margem de dúvidas, que a formação da chaminé de Catoca e o seu desenvolvimento foi evidenciado em várias etapas, sintetizado em 4 etapas:

- ❖ Primeira etapa (propriamente vulcânica) surgiu em sequência duma forte exalação dos gases até à superfície terrestre (aparentemente, no local de cruzamento das zonas sub verticais de fracturas). As rochas que formavam esse trecho, foram desintegradas e expelidas, tendo sido formadas as cavidades vulcanicas da chaminé. O processo era tão vigoroso que ocorreu o desembarço total da cavidade do conduto e da cratera, e eles adquiriram a configuração e dimensões praticamente modernos. Uma parte do material expelido acima da sua posição inicial, voltou à cratera e a parte subsuperficial do diatrema ainda não preenchida totalmente pela coluna magmática face ao aumento da viscosidade da sua substância e retardamento da ascensão no processo de desgaseificação. O volume do material que voltou à cavidade formada após a erupção, foi extremamente limitado. O principal corpo agente na formação desse aparelho vulcânico, era o fluido gasoso, é nesta fase que se relaciona a formação das brechas tufáceas kimberlíticas (BTK-1) da geração, inicial, e com uma parte da componente clástico da futura zona xenolítica (ZX). Esta etapa terminou com a meteorização parcial da zona xenolítica e seu preenchimento adicional com o material detrítico por conta da destruição das paredes e do vagalhão crateral da estrutura vulcânica criada.
- ❖ A segunda etapa, foi marcada por uma brusca queda da actividade vulcânica e um calmo desenvolvimento do processo geológico, surgindo as formações vulcano-sedimentares e epiclásticas do lago da cratera (RVS), representadas por arenitos, aleurolitos, argilitos inequigranulares, intercalações das brechas heterolíticas, contendo as impurezas do material tufogénico e produtos de destruição das rochas kimberlíticas da primeira etapa. O preenchimento da cratera vinha ocorrendo em simultâneo com a substância do fundo do lago decorrente do resfriamento e compactação da coluna das brechas autolíticas, e parou, supostamente, ao nível do fundo duma pressão no tecto das RVS, presentemente preenchidos por arenitos interformacionais fracamente

cimentados (AIF -1). Durante a etapa das RVS, aparentemente aconteceu uma pequena agitação na actividade vulcânica com expulsão de piroclastos sólidos – gasosos e sedimentação duma certa porção dos mesmo dentro do contorno da cratera. O que resultou em formação de uma jazida estratiforme de brechas tufáceas kimberlíticas (BKT), sendo que esse processo alternava-se com a redeposição parcial dos piroclastos e formação dos arenitos e gravelitos.

- ❖ A terceira etapa, relativamente calma, foi uma continuação lógica da fase final da etapa anterior, no processo de explosões curtas, criou-se um sistema das fraturas de distensão, e as zonas enfraquecidas que surgiram, serviram de canais de avanço das novas porções dos kimberlitos fundidos rumo à superfície. Os canais de avanço mais favoráveis eram os trechos enfraquecidos nas extremidades entre os gnaisses rígidos que circundavam o diatrema e o núcleo autolítico, também bastante denso, deste diatrema. Ao nível da cratera os gnaisses rígidos encaixantes não deixaram que os contornos externos da chaminé se expandissem, e a massa fundida, avançado à superfície vinha ganhando espaço mormente por conta do desalojamento das RVS, BTK-2 e parcialmente BTK-1, aos níveis mais altos dos trechos extremos. A ascensão da substância kimberlítica nesta etapa, tinha o caracter de fluxo viscoso (principalmente, parte intrusiva), o componente gasoso estava presente num volume limitado, mas todavia participava no processo – devido a sua presença, na cratera formaram-se os corpos lenticulares de tufísicos, tufos e brechas xenotufáceas, e suas variedades micáceas, na zona de contacto com as RVS, a massa fundida em ascensão, estava sendo parcialmente enriquecida como os xenólitos e recifes flutuantes das RVS, com a formação da zona de transição entre as mesmas rochas.
- ❖ Na quarta e última etapa, deu-se a formação do diatrema, ocorrendo a intrusão dos filões compostos por kimberlitos afíricos. Posteriormente, a parte vazia do cálice da cratera foi preenchida por produtos de destruição das rochas circundantes, por formação de um depósito lenticular e sedimentos do sistema de Kalahari.

3.8.5 Composição Mineralógica

Para caracterização da composição mineralógica das rochas kimberlítica do jazigo, foram recolhidas 5 amostras dos principais tipos de rochas que compõem a chaminé de Catoca, isto é, brechas kimberlíticas micáceas com a textura maciça do cimento (BKMM), as BKM com impurezas do material arenáceo, arenitos sedimentares (RVS), bem como as brechas kimberlíticas autolíticas (BKA). Os pesos das amostras variavam de 0,58 a 2,22 kg, sendo 1,58 kg em média, as amostras foram desintegrados num moinho em meio húmido, posteriormente o material foi peneirado nos crivos (nas classes 10 – 5; 5 -2; 2 -1; 1-0,5; 0,5 -0,25; e 0,25 – 0,10 mm). As classes obtidas, foram tratadas em líquidos densos, nomeadamente o bromofórmio, em fração leve e frações densas, e separados em frações magnéticas e não magnéticas. A análise mineralógica foi executada para as primeiras quatro classes representativas, tendo obtido os seguintes resultados: nas frações densas foram verificadas a presença do zircão, rútilo, turmalina, apatite, barite, siderite e minerais abissais (Diamante, ilmenite, clinopiroxenas, num grau menor a flogopite, um agregado complexo de serpentina, clorite de lâminas finas e carbonato).

3.9 Lavra

A chaminé kimberlítica de Catoca é explorada a céu aberto, utilizando o sistema de mineração com escavação por avanço. O esquema tecnológico inclui o desmonte direto do maciço de estéril, com a particularidade das rochas duras serem submetidas ao desmonte com explosivos e posteriormente carregado com escavadoras e transportado pelas correias para as pilhas de estéril ou escombreyras, ilustração 13. A extracção do minério é feito mecanicamente com recurso a escavação direta precedida de escarificação com tratores de esteiras e bulldozers.



Ilustração 13 - Sistema de transporte e carregamento de estéril

Para assegurar a estabilidade dos taludes e permitir que o desenvolvimento das operações de extração seja realizado de uma maneira sustentada, minimizando alguns risco de acidentes e custos operacionais dos transporte, o sistema de mineração obedece aos seguintes parâmetros:

- ❖ A altura das bancadas temporariamente não operacionais é 10 m. Este valor é obtido com base no cálculo experimental que engloba a densidade da rocha, o ângulo de fricção interna e o ângulo do talude.
- ❖ A altura das bancadas operacionais é 5 - 7 m. A escolha deste parâmetro é feita em função dos valores limite da altura de alcance da lança dos equipamentos de cargas.

- ❖ A largura das frentes de mineração é de 30 – 60 m.
- ❖ A Largura das banquetas (bermas) é projetada entre 20 – 30 m, variando em função das características do material da zona (material não muito resistente, material duro, material de dureza média) e o objetivo da própria berma (proteção e transporte).
- ❖ Os ângulos dos taludes das bancadas, quanto à sua inclinação são projetados em função das características físico-mecânicas das rochas em determinadas zonas ou partes do depositado (No estéril, material instável ou de baixa resistência - 30°, zonas de transição estéril/minério pouco duro - 45°, blocos de minério e gnaiss de dureza média - 60°, região de material duro – 60/75°).



Ilustração 14 - Chaminé kimberlítica de Catoca

O design e o planejamento mineiro na sequência das operações mineiras é feito com recurso ao software “Datamine” e “Gemecom” (em perspectiva) e a monitorização das operações pelo software “SmartMine” (ilustração 15). Este sistema permite uma gestão integral e em tempo real dos processos de carga e transporte da massa mineira, controlar níveis de produtividade, monitorização e análise dos índices chave do desempenho de cada máquina e operador, bem como o processamento automático da produção. Além deste sistema existe uma equipa especializada de engenheiros que desenvolve as operações mineiras, elaboram os planos estratégicos da mina, dos recursos necessários à produção (tecnologias, materiais financeiros e humanos) e realizam estudos de desenvolvimento do sistema de mineração, ilustração 14 e 15.

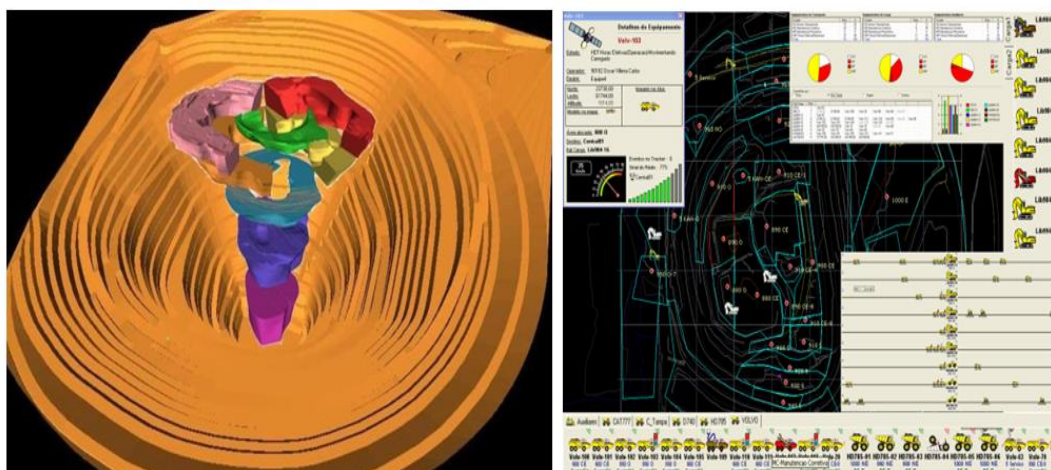


Ilustração 15 - Representação do sistema de controle por SmartMine de Catoca.

A existência de rochas de maior dureza, de águas subterrâneas e pluviais em vários pontos da Mina, constituem uma das grandes complexidades para a sequência lógica das operações de extração mineral. Normalmente, para o desmonte de rochas duras utilizam-se os explosivos em detrimento do arranque mecânico (com escavadora), e métodos combinados de drenagem e bombeamento das águas, são aplicados para mitigar estes problema e preservar a estabilidade dos taludes, cuja complexidade aumenta com o aumento da profundidade da mina, o que, constitui um grande desafio para os engenheiros.

No transporte e nas operações de extração mineral da corta para a central de tratamento 1, central de tratamento 2 e escombreyras, são utilizados mais de 5 km de correia transportadora, um sistema de formação de escombreyra, vários equipamentos revelados na tabela 11 e alguns parâmetros de desenvolvimento da mineração, desde o ano de 2012, tabela 12.

Tabela 11 - Equipamentos utilizados no sistema de mineração

Equipamentos		Capacidades	Unidades
Camiões	Articulados	40 Toneladas	63
	Rígidos	100 Toneladas	29
Escavadoras		4,5 a 5 m ³	6
		7 a 18 m ³	19
Pás carregadoras		4 a 7 m ³	9
Auxiliares			20

Tabela 12 - Parâmetros do desenvolvimento da mineração

Actividades		Quantidades
Remoção de estéril (m ³)		13476
Extração de minério (Tonelada)		10278
Fornecimento de minério	Mina para CT1 e CT2 (Ton.)	9814
	Stock para CT1 e CT2 (Ton.)	652
Transporte de massa mineira (Ton/Km)		150661
Consumo específico de explosivos (Kg/m ³)		0,7
Profundidade (m)		600
Coeficiente de estéril/minério (m ³ /Ton)		0,77



Ilustração 16 - Sistema de transporte e extração do minério na corta

3.10 Processamento Mineral

O processo de tratamento do minério na sociedade mineira de Catoca é efetuado em duas centrais de tratamento, que utilizam tecnologias e procedimentos operacionais similares. Nesta fase do 3º capítulo, descrever-se-á o processamento mineral, será feita uma abordagem sucinta e exclusiva da central de tratamento minério 2, vulgarmente chamado de módulo 2, ilustração 17. Este sistema de tratamento começa com a chegada da matéria-prima proveniente da mina com tamanhos superiores a 890 mm, através do transporte feito pelos camiões de marca Volvo D450, Komatsum D100 e CAT D300 para o britador.



Ilustração 17 - Central de tratamento minério 2 da sociedade mineira de Catoca

A central de tratamento 2 da sociedade mineira de Catoca, encontra-se subdividida em três fases:

- ❖ Pré – tratamento (consiste em operações aplicadas à matéria prima com o objetivo de desintegrar ou reduzir a granulometria e classificá-lo, de modo a dar seguimento às outras fases);
- ❖ Enriquecimento (é o termo aplicado na central de tratamento para o local onde se desenvolvem as operações de concentração hidrogravítico e meio denso das espécie minerais com dimensões de 1,4/-5 mm);
- ❖ Acabamento (é a zona onde ocorre a separação final do mineral útil através da propriedade de fluorescência, pelos separadores RX).

3.10.1 Pré - Tratamento

O pré – tratamento começa com a britagem (conjunto de operações com objetivo de fragmentar os blocos de minérios vindos da mina ao tamanho adequado), onde os caminhões basculantes descarregam o minério no *bunker* (tremonha) do britador de rolos dentados, que funcionam como um grande pré – condicionador da matéria-prima (induzindo micro fraturação), para dar maior eficácia ao estágio de moagem, que é feita com classificação à cabeça. O minério é triturado ao tamanho inferior de 500 mm e transportado pelas correias transportadoras a uma distância de 5 km, que por sua vez descarregam nas tremonhas de receção da central de tratamento 2 que possuem um volume 66,5 m³. Por ação de gravidade o material vai para os alimentadores dos moinhos autógenos, que tem uma capacidade média de 585 t/h. Nos moinhos autógenos as partículas de maior dimensão atuam como moentes das intermédias e estas como moentes das mais finas, processo facilitado pela turbulência criada pelas placas elevadoras e a injeção de água, sendo que este equipamento está acoplado um crivo de 50 mm.

O minério inferior a 50 mm, que vem do moinho, alimenta os classificadores espiral, constituídas por um eixo envolvido por 14 hélices (tem a função de remover o material sedimentado do fundo da calha) as que giram para manter a polpa em suspensão e fazer o desenlameamento a uma inclinação de 17°. A alimentação é feita abaixo do nível de polpa e o material de +1,4/-50 mm afunda e é transportado pelas hélices ao longo da calha até ser descarregado na parte superior através de uma abertura acima do nível de água. Este material alimenta os crivos vibratórios, enquanto as lamas, o material com dimensões inferiores a 1,4 mm, transbordam pela parte inferior, sendo enviado diretamente para a bacia de contenção dos rejeitados.

Os peneiros vibratórios são caracterizados por impulsos rápidos à superfície de dimensões 4880 mm, amplitude de oscilações de 5 mm, uma frequência de rotação do mecanismo eletromecânico de 960 movimentos por minutos e uma produtividade de 250 t/h. Recebe o material dos classificadores espiral para separar nas classes grossas +13/-50 e as classes médias +5/-13 mm que são transportados pelas correias até ao acabamento, e as mais finas +1,4/-5 mm são também levados para o enriquecimento onde poderá ser concentrado pelas jigas e os hidrociclones, enquanto as frações de -1,4 mm são direcionadas para a bacia dos rejeitados.



Ilustração 18 - Fase do Pré – tratamento da Sociedade Mineira de Catoca

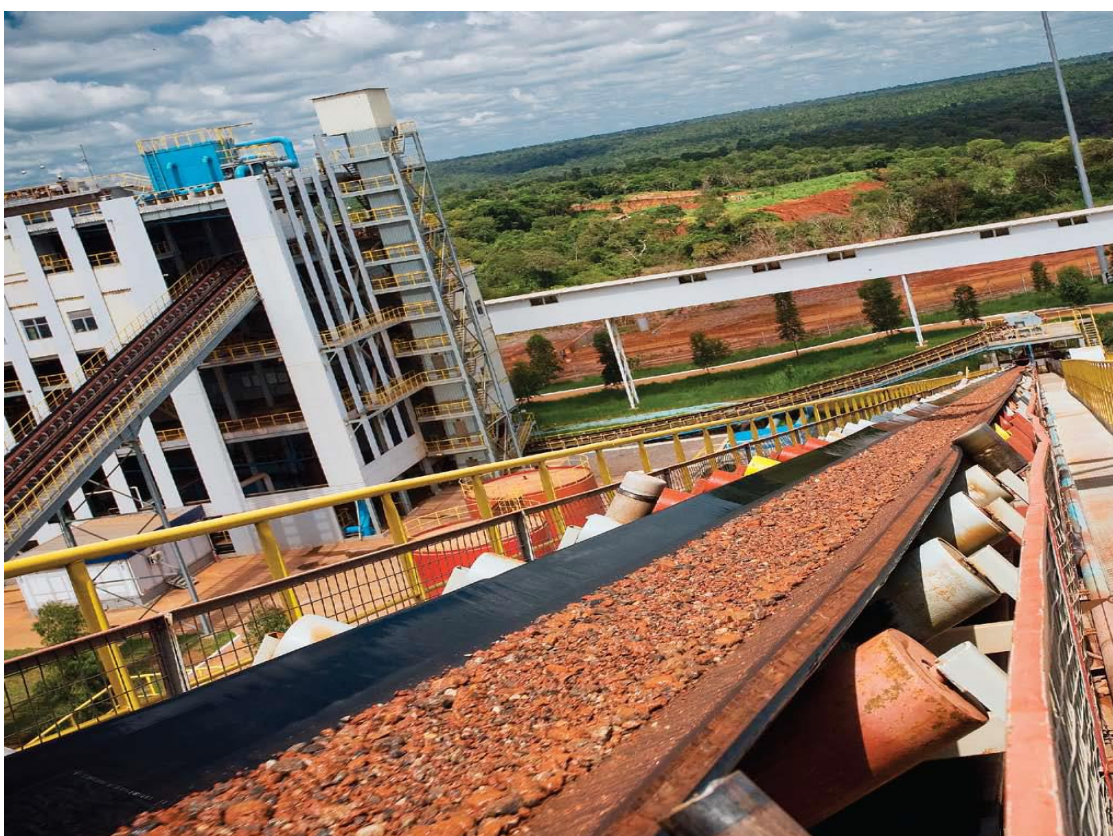


Ilustração 19 - Correia de retorno ao moinho

Fluxograma do pré – tratamento

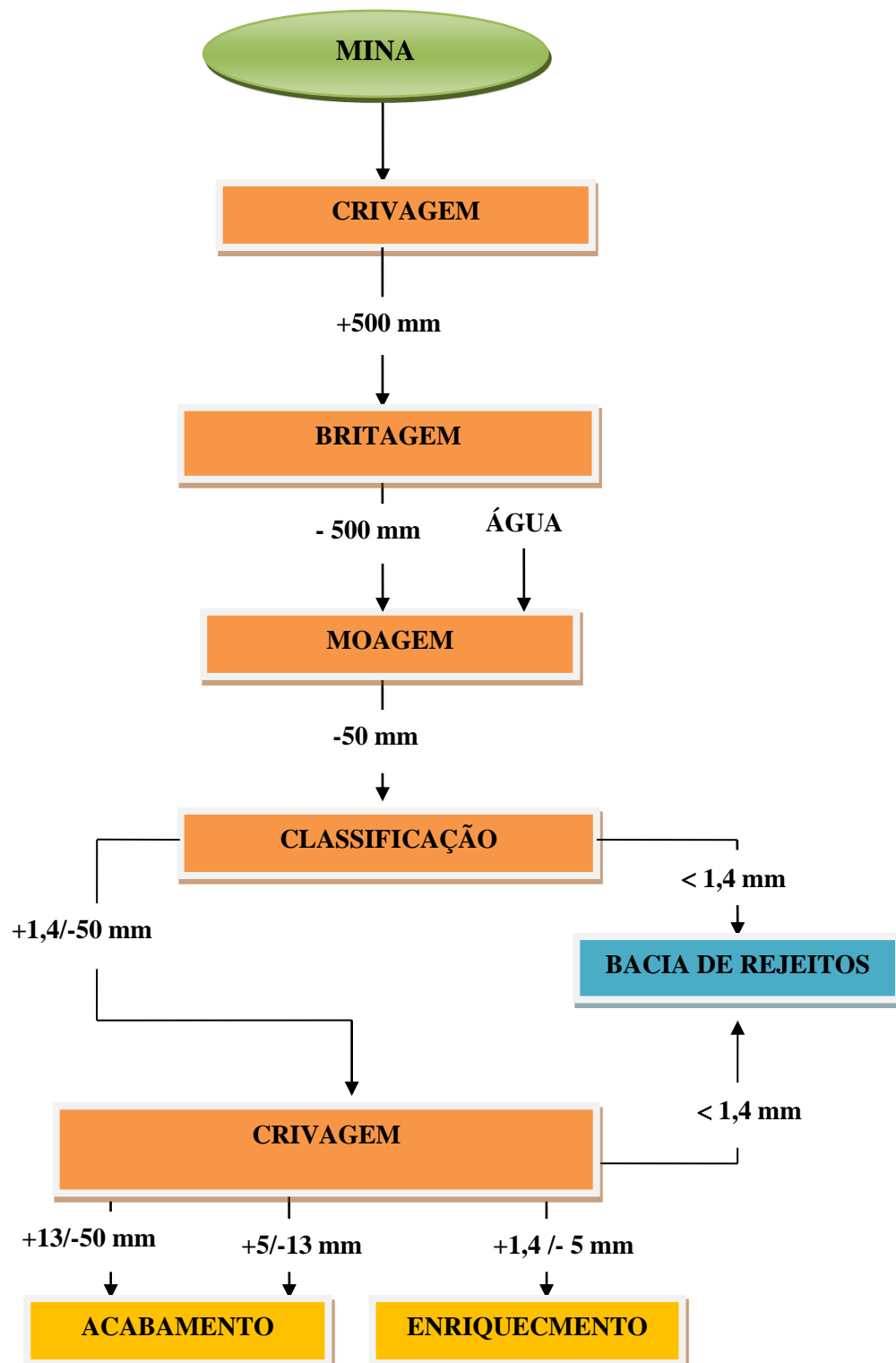


Ilustração 20 - Fluxograma do pré - tratamento

3.10.2 Enriquecimento

Esta fase de enriquecimento, surge com o objetivo de recuperar ou concentrar o material da classe -5/+1,4 mm proveniente do pré – tratamento. Ainda nesta fase, o material é transportado pelas correias até aos recetores através do processo de concentração gravítica (processo pela qual partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas uma das outras por ação da força da gravidade ou por forças centrífugas) utilizando as jigas de MO1 com uma produtividade de 60 t/h e os hidroclones Multotec.

No processo de jigagem a separação das frações das classes +1,4/-5 mm de densidades diferentes é efetuada num leito fluidizado por uma corrente de água (com consumo de 240 m³ /hora) pulsante a uma frequência média de 93, 98, 103 por minutos para cada uma das 3 câmaras, que as constitui. A estratificação dos minerais processa-se durante o período em que o leito está aberto. Neste período, as frações finas e leves ficam em cima do leito e os grossos pesados no fundo. As jigas ao consumir 2400 m³/hora de ar durante a consolidação intersticial, deposita as frações finas em cima e pesadas no fundo, e pela ação da gravidade estes materiais passam nos orifícios da tela que constitui a parte inferior do leito. Este material proveniente da separação das jigas, vai diretamente para o processo de peneiração e posteriormente para o tanque de mistura com o meio denso. Enquanto as frações mas leves na parte superior do leito é encaminhado para as bacias de rejeitados.

As frações com calibre inferior a 1,4 mm e que passaram no processo de peneiração (desenlamear) são encaminhadas para os classificadores de espiral. Este por sua vez promove uma classificação seletiva de controlo definindo o material que vai ser recirculado ou poderá retornar ao moinho e os que serão depositados na bacia de contenção dos rejeitados.

O concentrado das jigas é depositado num *bunker* (tremonha), através das bombas GRAT-225/65 e são transportados até ao crivo vibratório para desenlamear. De seguida, o material passa no vibro-alimentador com uma correia anexada a uma balança que descarrega para o tanque de mistura, local onde ocorre a mistura do concentrado, do ferro silício e da água. Do tanque de mistura, a suspensão com densidade 2,35 a 2,55 kg/dm³, alimenta tangencialmente um hidroclone de 360 mm de diâmetro e 20° de abertura, capaz de tratar 20 t/h com uma pressão máxima de 145 Kpa e um diâmetro bocal de 90 mm. No seu interior é gerada uma força centrífuga tão significativa que

causa a estratificação radial das frações de densidade diferenciada. As frações leves e densas passam a localizar-se no centro do cone, enquanto as mais finas preenchem os vazios entre as frações pesadas e as densas. As frações pesadas, movimentam-se ao longo da parede do hidrociclone para serem descarregados no *apex* e as leves, são descarregados no *vortex finder*.

O ferro silício das duas frações é recuperado após a lavagem feita com água sobre dois crivos. O médium mais diluído é posteriormente espessado, volta ao circuito em separadores magnéticos de tambor e retorna ao circuito. A água e uma quantidade insignificante de ferro silício não recuperado são canalizadas para bacia de contenção de rejeitados. A fração densa (concentrado) que saiu pelo *underflow* do hidrociclone é conduzida para a fase de acabamento e picagem.

Na tabela 13 apresenta-se as características químicas do ferro silício do tipo D270.

Tabela 13 - Características químicas do ferro silício do tipo D270

Elementos	Peso (%)
Silício	15
Carbono	1
Enxofre	0,05
Fosforo	0,09
Alumínio	0,78
Cobre	0,83
Crômio	0,52
Manganês	0,53
Ferro	81,29

Fluxograma da fase do enriquecimento

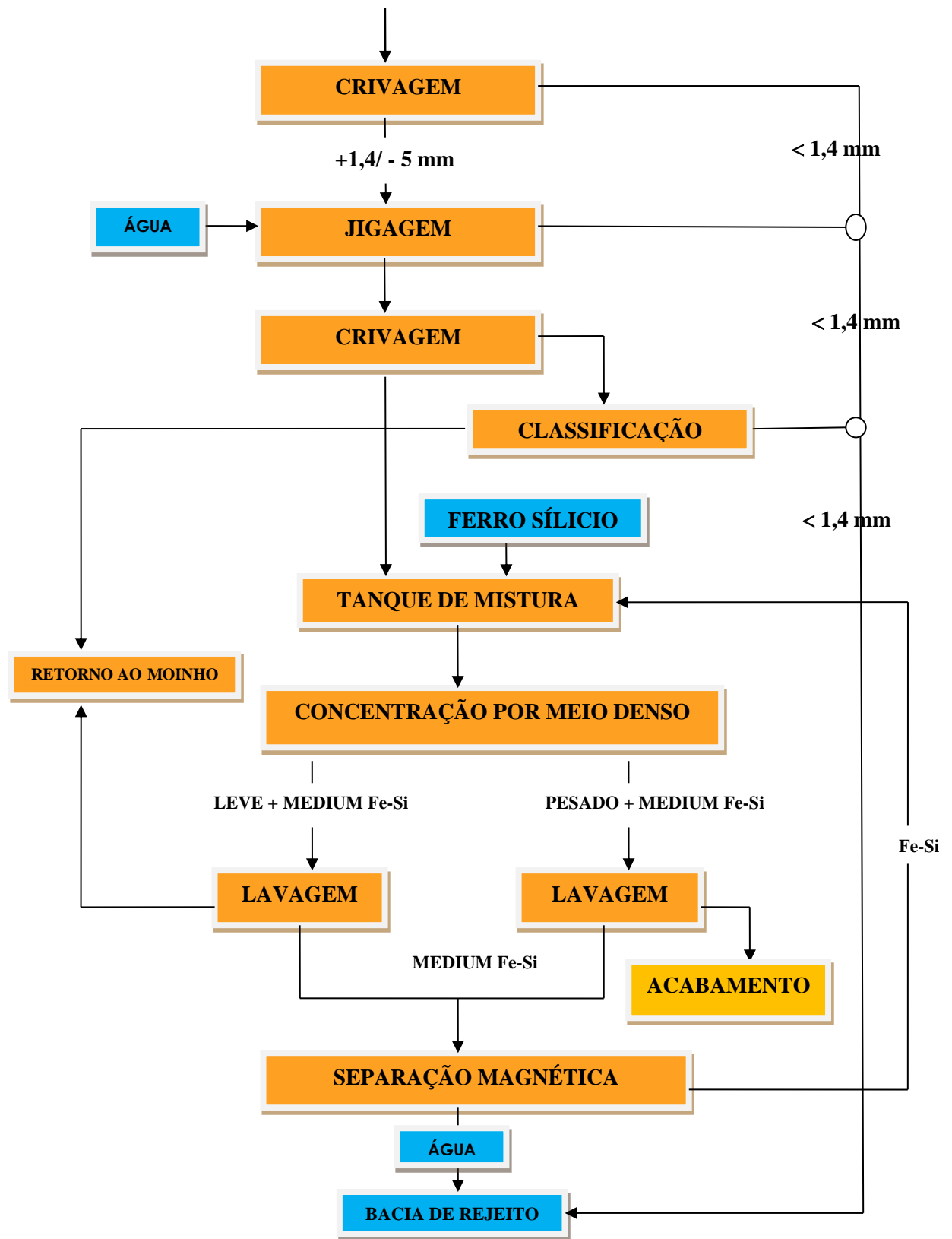


Ilustração 21 - Fluxograma da fase de enriquecimento da Sociedade Mineira de Catoca

3.10.3 Acabamento

O concentrado recuperado no meio denso é outra vez crivado em +2/-5 e +1,4/-2 mm, que vão diretamente para os separadores RX. Os minerais fluorescentes são os concentrados. O foto-elemento transforma a energia ótica em sinal elétrico, que por sua vez passa na bobina magnética, fazendo com que se abra uma janela que capta os diamantes e os minerais com propriedades fluorescentes. Os que não possuem essa propriedade retornam ao moinho. Atendendo a que este mineral se encontra húmido, ele é enviado para o forno elétrico (estufa), onde depois do processo de secagem é separado nas frações de classes +2/-5 mm e +1,4/-2 mm, tal como no início. Os minerais com propriedade fluorescente são levados para os cofres e posteriormente seguem para picagem, enquanto os que não possuem estas características retornam ao moinho.

As frações grosseiras, +13/-50 mm e as médias +5/-13 mm oriundas do pré – tratamento são distribuídas em lâminas, onde são bombardeadas por dois grupos de aparelhos RX, que efetuam a separação dos minerais satélite pela propriedade de fluorescência. Os concentrados são levados para a picagem enquanto os rejeitados retornam ao moinho.

O concentrado de todas as classes das fases anteriormente referenciadas constitui cerca de 95,5% de diamantes, e são remetidos para a sala de picagem. A picagem é feita manualmente, e consiste na separação dos minerais satélites dos diamantes. Estes últimos são posteriormente tratados quimicamente com ácido sulfúrico e ácido clorídrico, para eliminação das impurezas e inclusões, sendo depois encaminhados para à avaliação para onde são separados em classes consoante o seu valor económico.

Fluxograma do Acabamento

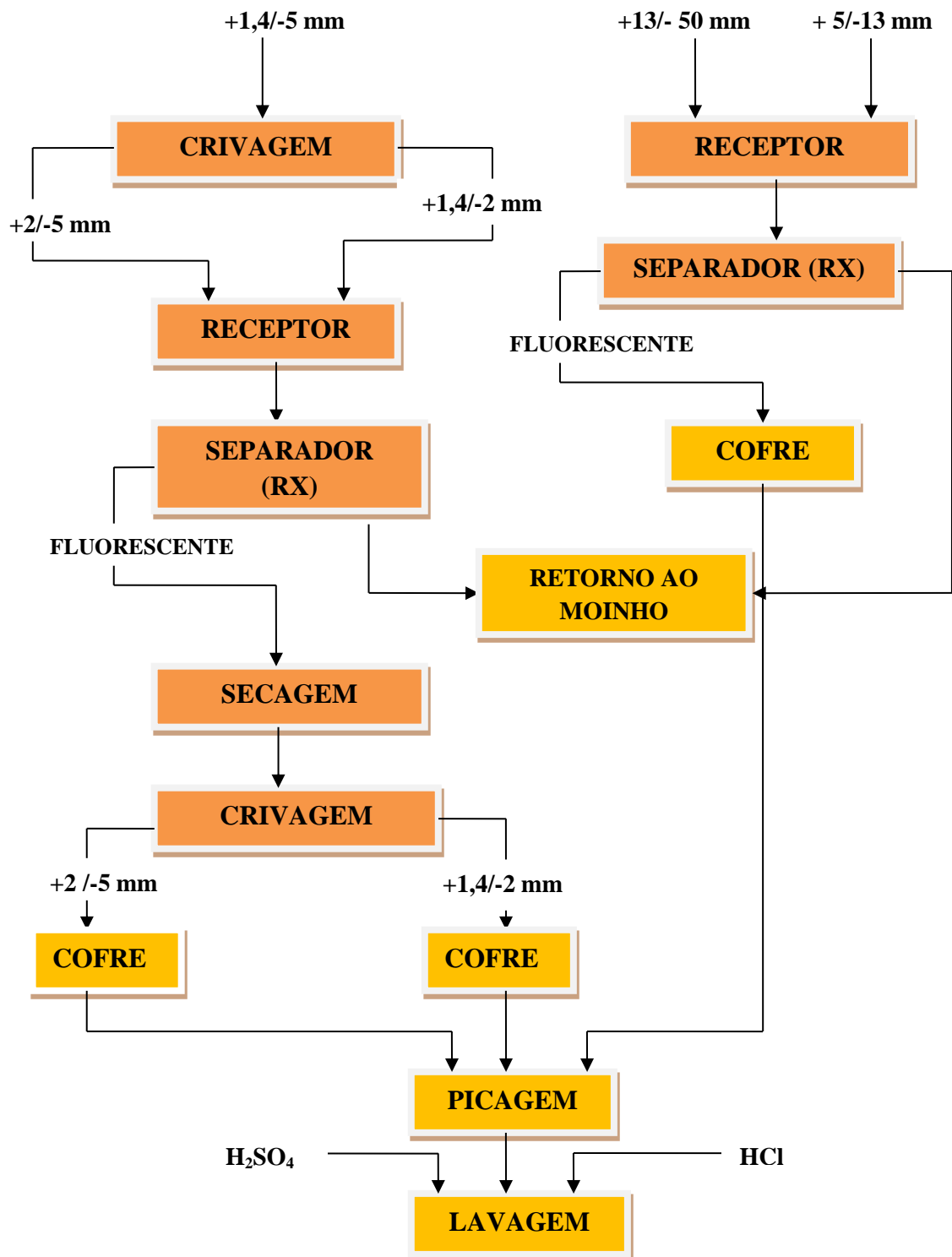


Ilustração 22 - Fluxograma do processo de acabamento da central de tratamento

CAPÍTULO 4

Caraterização da Bacia de Contenção dos Rejeitados da Sociedade Mineira de Catoca

4 Caracterização da Bacia de Contenção dos Rejeitados da Sociedade Mineira de Catoca

A bacia de deposição do rejeito da sociedade mineira de Catoca, está localizada no leito do rio Luite, ocupando atualmente uma área de 6 km². Tem uma capacidade de armazenamento de 35 milhões de m³, profundidade máxima de 10,67 m e o seu dique de partida foi construído no leito do mesmo rio, com o material de empréstimo. O seu alteamento posterior, foi construído com o material resultante da deposição hidráulica dos rejeitados. Ela caracteriza-se por um sistema de drenagem interno, constituído por um filtro em chaminé e um tapete drenante de material grosseiro; por um tubo de descarga de cheias que descarrega no antigo leito do rio Luite. Os taludes encontram-se protegidos com britas e vegetação (ilustração 23), e os canais de drenagens como cachimbo, valas e drenos estão em perfeito estado de funcionamento;

A estrutura representa um bom investimento de Catoca, na medida em que tem permitido o doseamento correto das águas para as duas centrais de tratamento mineiro e a recirculação das águas, não, criando danos significativos ao ambiente e às populações adjacente à exploração mineira.



Ilustração 23 - Bacia de contenção dos rejeitados da Sociedade Mineira de Catoca

4.1 Deposição dos Rejeitados

A deposição é realizada por *espigote*, mediante pontos de drenagens ou bocas de drenagem com válvula de descarga de 150 mm dispostas ao longo da conduta de distribuição da polpa. A abertura da válvula permite a deposição da polpa em cada ponto. Através do processo de segregação hidráulica, os rejeitados mais finos em forma de lama distanciam-se da zona de deposição da válvula de descarga em direção ao interior da bacia e as grosseiras acumulam-se mais próximo da zona de descarga, dando assim, a formação da praia. O processo de decantação é natural, isto é, as lamas depositam-se nas profundidades da bacia, melhorando assim a turbidez da água nela contida. Permitindo transformar a bacia de contenção dos rejeitados, em zona de captação dos volumes de água necessária ao processo de tratamento minério nas centrais de tratamento.



Ilustração 24 - Tubo de descarga dos rejeitados

4.2 Sistema de Captação e Recirculação de Água

A água é uma componente essencial para o normal funcionamento do processo de tratamento de minérios. O seu aproveitamento racional, o abastecimento fiável e adequado, bem como o seu armazenamento e transporte. Tornam-se indispensáveis na diminuição significativa da quantidade de água nova a ser utilizada, na minimização de custos de captação e de análise de água a ser descartada, e minimizar os impactos ambientais originado pelo processo de tratamento de minério, na SMC.

O sistema de captação e recirculação de água, é gerida pelo sector de instalação hidrotécnica, por meio da Secção de exploração hidrotécnica em regime ininterrupto, através de turnos de 12 horas. O que faz dele uma parte integrante do esquema tecnológico do processo de tratamento de minérios e tenham a função de garantir o fornecimento de água para a central de tratamento de minérios, concludentemente a receção dos rejeitados resultantes do processamento e a exploração da bacia dos rejeitados.

A bacia dos rejeitados é a fonte do sistema de captação e abastecimento de água para as centrais de tratamento mineiro de Catoca, aproximadamente $8000 \text{ m}^3/\text{h}$; sendo:

- ❖ $5000 \text{ m}^3 / \text{h}$ CT2;
- ❖ $3000 \text{ m}^3 / \text{h}$ CT1.

A captação da água é feita através de bombas submersíveis do tipo Grindex Magnum, instaladas sobre uma balsa (plataforma) flutuante, na zona de água clara ou bacia de decantação, que aduzem a água para as centrais de tratamento minérios por tubagens de aço carbono, com um diâmetro de 900 e 1000 mm. Estas tubagens de recirculação da água, para o processamento minério, estão sujeitas a vazamentos, que poderão produzir consequências de ordem económica, de segurança da bacia dos rejeitados e de ordem ambiental, em razão de provocar contaminações e erosão. O controlo dos vazamentos da linha de recirculação de água é feito à maneira das instruções para o controlo similar das tubagens dos rejeitados.



Ilustração 25 - Plataforma flutuante com bombas do tipo Grindex Magnum

Fluxograma de recirculação de água

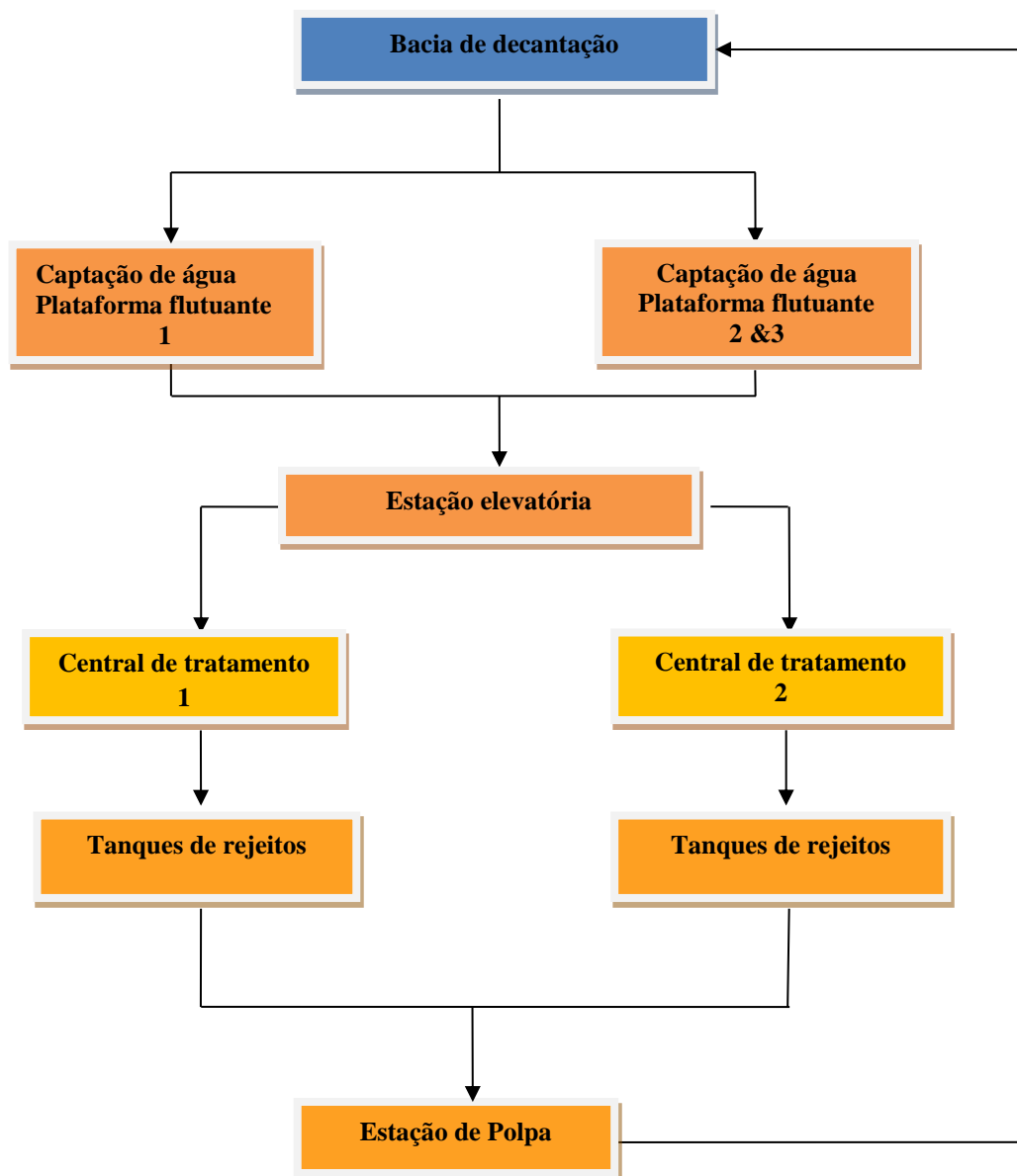


Ilustração 26 - Sistema de recirculação da água na Sociedade Mineira de Catoca

4.3 Processo de Construção da Bacia de Contenção

O projeto de construção da bacia de contenção dos rejeitados em estudo, foi elaborado pelo Instituto de investigação científica e de projetos da Iakutia, agregado à empresa Russa Alrosa, com base nos termos de referência contido no caderno de encargo apresentado pela SMC. Entre os principais parâmetros de projeto, que foi possível obter, destacam-se:

- ❖ A sua exploração vai até ao ano de 2034;
- ❖ Possuem uma distância de transporte hidráulico de 4 km;
- ❖ A bacia tem uma capacidade receber 180000000 m³ de rejeito;
- ❖ Utilizam-se as bombas de areia, do tipo Grat (1800/67);
- ❖ A cota máxima de enchimento com água é de 990 metros absolutos;
- ❖ A cota da crista do dique é 993 metros absolutos.

A construção inicial da bacia de contenção dos rejeitados foi assegurada pelo departamento de construção civil e o sector de terraplanagem do departamento de exploração mineira por um período aproximado de 2 anos. O seu dique primário foi construído até à cota de 950 m. Até este momento, foram já construídos com o próprio rejeitado cinco diques por alteamento, com as cotas 956, 963, 970, 977 e 980 metros absolutos, respetivamente. Os alteamentos são construídos por um trator buldózer D6-LGP, ilustração 27, de execução especial para trabalhar em zonas pantanosas, que empurra o material rejeitado acumulado do lado da praia e espalha o mesmo sobre todo o comprimento do dique a ser construído e compactados em camadas de 200 mm, sucessivamente. Estas camadas são adensadas por um cilindro compactador - vibrante, em 11 passagens a uma velocidade de 5 km/h, com o objetivo de aumentar a resistência ao corte do material à atingir níveis altos de estabilidade da estrutura e aumentar o peso específico aparente do solo, sob ação da diminuição de índice de vazios por aperto das partículas e expulsão do ar.

Durante o período da construção do dique a ser alteado, são instalados sobre a estrutura, filtros que retêm as partículas de maiores dimensões e estas por sua vez acomodam nos seus vazios as partículas de menores dimensão, uma rede de drenos coletores com um diâmetro interno de 110 mm, evacuadores de cheias, cachimbos, valas de drenagens ao longo do pé do talude e um tubo de descarga na margem perpendicular aos diques alteados com uma altura de 0,5 m abaixo da cota máxima do

dique. Estes mecanismos e ações operacionais são instalados com objetivo de baixar o nível freático, eliminar a erosão interna no interior da bacia de contenção, evitar que as águas subam à superfície, onde correntes de erosão superficial podem por em perigo a estabilidade do talude.



Ilustração 27 - O buldózer utilizado no processo de construção dos taludes

4.4 Inspeção e Monitorização

As inspeções das estruturas de contenção dos rejeitados de Catoca são realizadas em regime sistematizado, por uma equipa de trabalhos, constituída em cada turno, para detetar e reparar os danos que podem diminuir a integridade da estrutura, manter a bacia de contenção dos rejeitados em boas condições e para prolongar o seu tempo de vida útil, fonte vantajosa e segura no aproveitamento de água para as suas duas centrais de tratamento minérios. As inspeções e monitorização do sistema de contenção dos rejeitados realizam-se, em sequência:

- ❖ Inspeção periódica no campo, onde são realizadas as observações superficiais nas várias estrutura que constituem o sistema de contenção de rejeitados;
- ❖ Avaliação das condições de funcionamento ou de segurança da estrutura, realizada com base nas inspeções periódicas, na utilização de ferramentas auxiliares, no conhecimento teórico e na experiência acumulada com as estruturas;
- ❖ As informações obtidas a partir de uma minuciosa inspeção em todo o sistema durante a monitorização e controle, são registados em relatórios diários, que são entregues em cada turno. Nela ressalta, a ata que contem os registos das ações tomadas no período de trabalho de cada turno.

4.5 Manutenção

A manutenção da bacia de contenção dos rejeitados visa normalmente, manter em condições satisfatórias a estrutura, depois do período de construção. No entanto, para manter as boas condições de projeto são feitas manutenções regularmente, pelo pessoal da secção de exploração hidrotécnica e de montagem; na conservação dos taludes dentro das normas do projeto, a desmontagem e montagem das tubagens que fazem parte do transporte de água para as centrais de tratamento e os rejeitados para a bacia. Eles contam também, com o apoio dos serviços especializados do sector de terraplanagem, adstrito ao departamento de exploração mineira, no reforço e cobertura com gnaisse e terra vegetal para eliminar o movimento de partículas finas no talude para dentro dos cachimbos e erosões superficial, na deposição das areias de empréstimos para a compactação das zonas de circulação dos taludes. Bem como, na eliminação de avarias (no caso de graves erosões externas provocado pelo escoamento superficial, quando o

volume de quedas pluviométrica ultrapassa as capacidade de escoamento do sistema instalado).

Do processo de manutenção e conservação das instalações da bacia de contenção dos rejeitados fazem parte a liquidação de avaria, mediante a aplicação do plano de ação emergência (PAE), uma lista de verificação e preparação das atividades a serem seguidas frequentemente, registos das atividades de manutenção e dos trabalhos executados. De entre as principais avarias, que podem suceder, no caso concreto da bacia de contenção dos rejeitados de Catoca, destacam-se:

- ❖ A erosão superficial;
- ❖ Rotura da conduta de transporte por choque hidráulico;
- ❖ Avaria nas válvula de descarga do rejeito, por desgaste provocado pela abrasão;
- ❖ Entupimento dos copos de receção ou cachimbos do escoamento superficial.

Mas, alguns procedimentos de manutenção são executados por equipas de turno de 12 horas da secção de exploração hidrotécnica, em época de pouca queda pluviométrica e se a bacia não estiver cheia, dentre estes realçam-se as seguintes ações:

- ❖ Semear as plantas rastejantes em todas as superfícies nuas e de terra vegetal, depois do processo de construção e antes das primeiras chuvas de alta intensidade, reduzindo deste modo a erosão superficial;
- ❖ Algumas zonas críticas do talude são cobertas com terra vegetal e uma camada de inertes por cima, que por sua vez permite o crescimento de capim entre as gravilhas, ou quando houver uma quantidade de escoamento superficial utiliza-se uma rede de escolta estendida e presa no talude para dar alguma proteção às plantas em crescimento e ao solo por baixo, ilustração 28;
- ❖ Remover as árvores, arbustos e plantas de raízes profundas ao redor da estrutura, pois elas não ajudam na estabilização dos solos. As raízes das árvores que chegam a bacia, quando mortas e em decomposição formam uma passagem para insetos, animais e água;
- ❖ Eliminar os salalé (térmita) com inseticidas recomendáveis, e quanto as tocas de animais são escavada e elas devem ser aterrada com um bom material.



Ilustração 28 - Taludes cobertos com terra vegetal



Ilustração 29 - Visão holística da bacia de contenção dos rejeitados da SMC

CAPÍTULO 5

Metodologia de Controlo Geoambiental para Bacia de Contenção dos Rejeitados

5 Metodologia de Controlo Geoambiental para Bacia de Contenção dos Rejeitados

A metodologia de controlo geoambiental da bacia de contenção dos rejeitados é uma ação necessária para ceder uma explicação minuciosa, detalhada, rigorosa e exata de todas atividades desenvolvidas na exploração da estrutura, bem como, avaliar as competências, potencialidades, limitações ou distorções que surgem durante as várias fases de vida da exploração da bacia de contenção dos rejeitados em relação às variáveis definidas pelo projeto de concessão.

Para tal, foi possível traçar um esquema metodológico de controlo geoambiental para a bacia de contenção dos rejeitados de Catoca que irá proporcionar um conhecimento apropriado do comportamento da estrutura. Isto para que, por exemplo na possível existência de uma anomalia, seja feita a correção em tempo oportuno, antes de um colapso, da degradação ambiental e de calamidade. Este esquema metodológico, elaborado para bacia dos rejeitados de Catoca, pauta-se pelos seguintes itens de controlo:

- ❖ Controlo geotécnico;
- ❖ Controlo ambiental;
- ❖ Monitorizações de instrumentos instalado na estrutura.

5.1 Controlo Geotécnico

O controlo geotécnico é realizado para revelar os indicadores que permitem avaliar a estabilidade da estrutura (dique), através dos seguintes procedimentos:

- ❖ Inspeção Visual, consiste na observação visual e fotográfica do desenvolvimento da estrutura, detetando anomalias que possam prejudicar a estabilidade da bacia de contenção de rejeito ou indicativos de que algo errado/fora do normal esteja acontecer, nomeadamente as tubagens de transporte e descarga do material, o aluviamento efetuado pelas válvula de descarga, as erosões externas, fissuras, humidade, existência de erosão interna, isto é, partículas de rejeitado na água que sai dos drenos e partículas de rejeitados que estejam a ser libertadas noutras

zonas dos taludes. Os resultados da observação visual deverão ser registados em boletins de ocorrências apropriados, fazendo configurar a devida fotografia do desenvolvimento da estrutura (anexos I).

- ❖ Análise técnica, baseia-se na recolha mensal de dados/amostras do material depositado na praia, que serão verificados em laboratório para se aferir a composição granulométrica, o peso específico aparente, o peso específico, o teor em água, ensaios de compactação em épocas de preparação e construção de um novo dique, ensaios de corte direto e ensaios triaxiais para resistência do material, ensaios de permeabilidade.

5.2 Controlo Ambiental

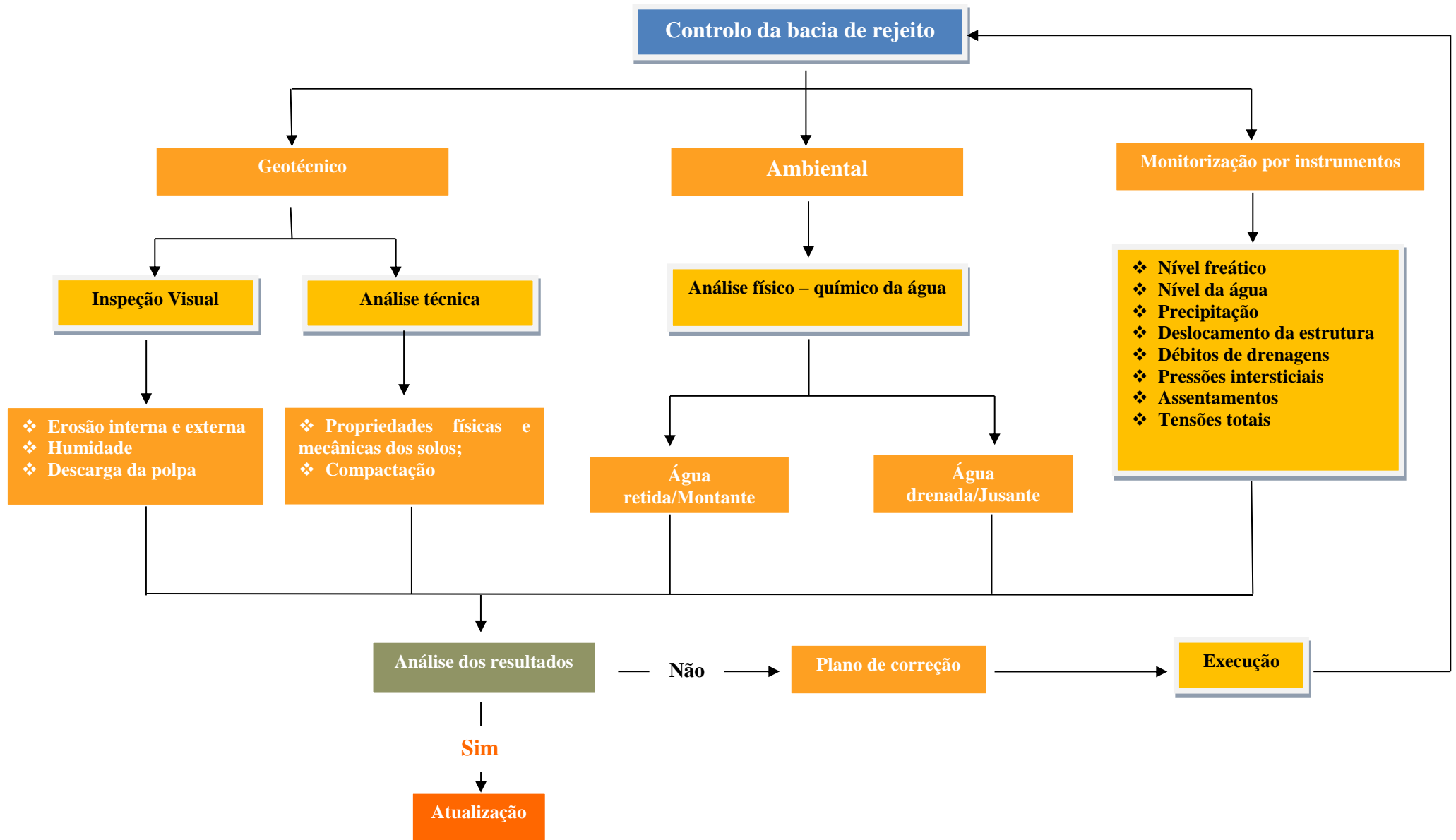
Relativamente ao controlo ambiental, fundamenta-se em ações integradas que visam mitigar ou minimizar os impactos ambientais negativos que possam suceder ao longo do tempo de vida da estrutura, projeto, construção e exploração, de modo a garantir sustentabilidade do ecossistema adjacente à estrutura, melhorar os aspetos de segurança das populações que vivem ao redor da exploração da bacia de contenção dos rejeitados e reduzir custos onerosos na recuperação das áreas degradada no final do ciclo da atividade de exploração mineira da empresa.

No entanto, devem realizar-se recolhas trimestrais de amostras da água retida a montante, água drenada a jusante sob ação dos cachimbos e drenos, e nos vertedouros em época de alta precipitação ou quando se pretende reduzir o nível freático. De modo a verificar em laboratório os parâmetros físico-químicos da água e para possivelmente, fazer uma comparação com os valores padronizados pelos preceitos legais.

5.3 Monitorização por Instrumentos

A monitorização por instrumentos, a implementar consistirá em avaliar o real comportamento da bacia de contenção do rejeito quanto ao desenvolvimento das ações de exploração e subsidiar as correções de eventuais inconformidades de projeto encontrados que coloca em risco a estrutura, identificando mensalmente o nível de água na bacia e o nível freático, deformações e pressão intersticial, deslocamentos da estrutura, tensões totais, assentamentos, débitos de drenagens e a precipitação. Os resultados obtidos da monitorização deverão ser registados em boletins, para posteriormente serem comparados com os parâmetros máximos e mínimo de projeto.

Após o controlo geotécnico, ambiental e a monitorização por instrumentos, os relatórios deverão ser submetidos a uma análise dos dados obtidos. Quando os resultados não satisfazem os critérios de projetos, deve ser elaborado um conjunto de ações de manutenção e correções de acordo as anomalias ou instabilidades pontuais apresentados na estrutura e na exploração. No caso de estar em conformidade com os respetivos critérios de projeto deve ser feita uma atualização dos procedimentos de controlo nos tempos marcado para sua efetivação.



CAPÍTULO 6

Análises e Discussão dos Resultados

6 Análise e Discussão dos Resultados

6.1 Resultados e Análise do Controlo Geotécnico

Para a realização do controlo geotécnico na bacia dos rejeitados de Catoca, especificamente a análise granulométrica e as propriedades físicas e mecânicas, foram recolhidas amostras em 9 pontos de amostragem ao longo da praia, com uma profundidade variando entre 0,20 a 0,60 m. O ponto inicial de amostragem não foi considerado por estar numa zona submersa e ser uma zona de difícil acesso.

Os resultados do controlo geotécnico que serão apresentados nesta seção da dissertação, são a curva granulométrica, propriedades física e mecânica, a envoltura de rotura e a curva de compactação.

6.1.1 Propriedades Físicas dos Rejeitados da Bacia de Contenção

Durante a fase de recolha das amostras no campo, foi possível fazer alguns ensaios, nomeadamente o de corte direto e o do peso específico aparente do solo. No seguimento do processo de colheita, levou-se as amostras para o laboratório de mecânica dos solos do departamento de geologia da empresa, onde se determinou a composição granulométrica, o teor em água, a densidade das partículas sólidas, a compactação e por último correlacionou-se as expressões referidas no segundo capítulo, de forma a determinar o peso volúmico seco, o coeficiente de uniformidade, a condutividade hidráulica, a porosidade e os índices de vazios. Os resultados estão representados nos boletins de registos nº 2 a 6 do anexo III. Além de que é possível analisar nesta secção da dissertação, na tabela 14, os resultados dos valores agregados de todos os ensaios executados.

Tabela 14 - Propriedades físicas dos rejeitados

Nº de pontos	Profundidade	γ_{ap} g/cm ³	Gs g/cm ³	W	γ_d g/cm ³	n (%)	e
P.1	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
P.2	0,60	2,00	2,77	0,23	1,63	41,3	0,70
P.3	0,40	2,00	2,71	0,30	1,54	43,2	0,76
P.4	0,40	1,93	2,70	0,30	1,48	45,0	0,82
P.5	0,40	1,88	2,67	0,30	1,45	45,8	0,85
P.6	0,40	1,98	2,76	0,24	1,60	42,1	0,73
P.7	0,20	1,98	2,71	0,29	1,53	43,4	0,77
P.8	0,35	1,84	2,73	0,24	1,48	45,6	0,84
P.9	0,35	1,95	2,76	0,26	1,55	43,9	0,78

Tendo em conta que os parâmetros apresentado na tabela 14, já foram realçados no capítulo é importante recordar que o γ_{ap} é o peso específico aparente (muitas vezes, é considerado como densidade do solo), **Gs** é a densidade das partículas, **W** é o teor em água, γ_d é o peso volúmico seco, **e** é o índice de vazio natural e **n** é a porosidade.

Através dos resultados verificados na tabela 14, podemos afirmar que estamos perante um solo solto e com um índice de compacidade que varia entre os 25 e os 40 %. Os pesos volúnicos secos dos pontos 4,5 e 8 estão mais baixos, e contrariamente possuem porosidades altas por serem recolhidos na zona da praia, onde ocorre com maior ação a segregação hidráulica. Os pontos 3 e 7, possuem pesos volúnicos médios em relação aos outros, por serem recolhidos na zona intermédia da praia. O ponto 2 tem valor do peso volúmico maior e conseqüentemente uma porosidade baixa, este foi amostrado na zona próxima do dique e é constituída por material de granulometria grosseira. Enquanto os pontos 6 e 9, foram colhidas em zonas com um nível de água baixo (zona com grau de saturação baixa) e com solos depositados a um longo prazo em relação às outras.

Em síntese, dependentemente do local onde foi colhida amostra, da vazão específica dos rejeitados, da intensidade de descarga dos sólidos depositados, o tempo que o rejeito permanece na praia (isto é, desde o momento que foi armazenado), quanto maior for o peso volúmico seco do rejeitado menor será a sua porosidade (vice – versa).

6.1.2 Distribuição Granulométrica

O conhecimento da distribuição granulométrica permite ter uma compreensão do comportamento global do material rejeitado que depois de ser depositado na bacia de rejeito é preparado por buldózers e outros equipamentos para ser utilizado na construção de um novo dique, e por outra, elas regulam a resistência, a permeabilidade, as características de compactação que o solo será submetido.

Para se obter um conhecimento realístico da distribuição granulométrica, foram colhidas 8 amostras dos 9 pontos demarcados ao longo da praia da bacia de contenção dos rejeitados, com as profundidades variando entre 0,20 a 0,60 m. Os resultados obtidos da análise granulométrica, executadas no laboratório de mecânica de solos do departamento de geologia da sociedade mineira de Catoca, estão apresentados na tabela 15. Por outro lado, é importante ressaltar que na ilustração 30, se apresentam as curvas granulométricas cumulantes para as análises. No eixo das abcissas da mesma figura estão representados os diâmetros de partículas à escala logarítmica.

Tabela 15 - Resultados da Análise Granulométrica

	Pontos de amostragem, (%)								
Calibre (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0	19	14	14	11	19	13	17	12
1	0	16	12	14	11	18	14	14	11
0,5	0	19	17	22	19	24	22	20	15
0,25	0	21	34	25	27	22	25	23	21
0,1	0	23	22	21	27	15	22	23	32
0,05	0	1	1	2	3	1	3	2	6
0,01	0	1	0	2	2	1	1	1	3
0,005	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0

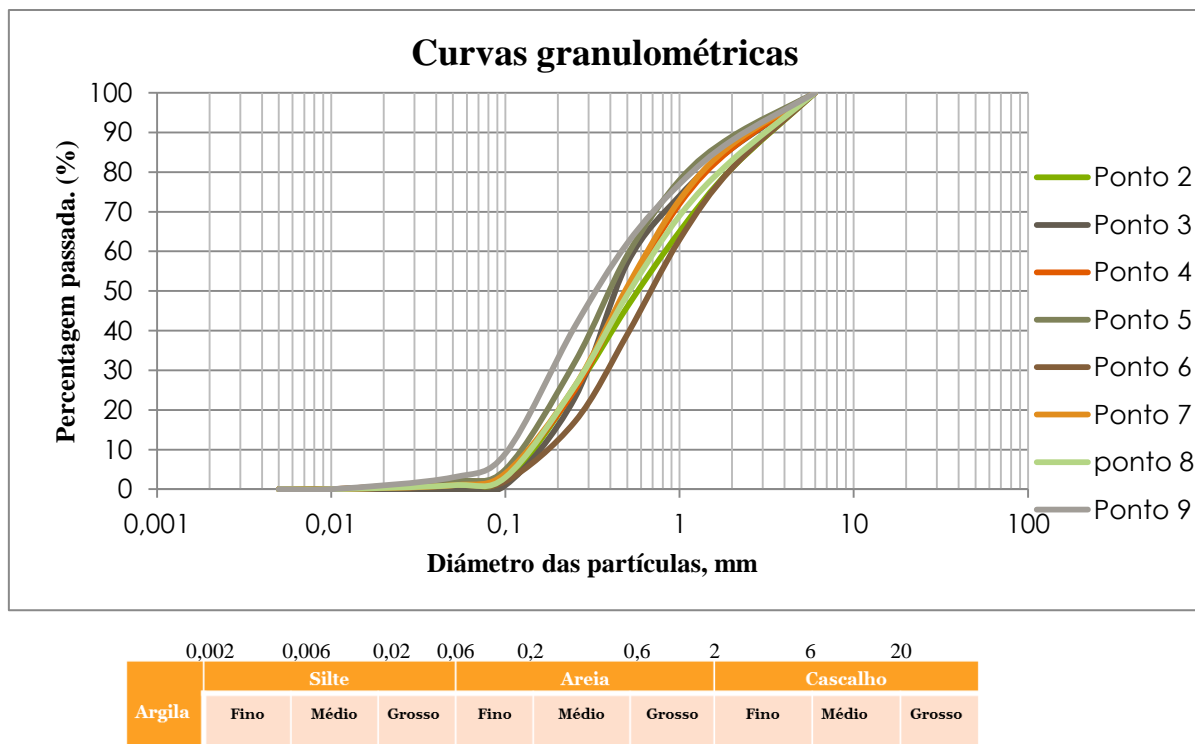


Ilustração 30 - Curva granulométrica dos rejeitados da bacia de Catoca

Na ilustração 30, é também possível observar a classificação das partículas quanto à granulometria, que é feita em quatro classes: cascalho, areia, silte e argila.

De maneira a representar a percentagem dos teores das frações e dar uma interpretação mais exhaustiva aos resultados obtidos nos ensaios granulométricos dos rejeitados depositados na bacia de contenção, construiu-se a tabela 16 com as representações dos tipos de solos e o coeficiente de uniformidade (variável fundamental para descrição da variedade das dimensões dos rejeitados que serão utilizados na construção do novo dique).

Tabela 16 - Frações

Nº de pontos	Profundidade	Frações (%)				Coeficiente de uniformidade do solo, Cu, (%)	Coeficiente de curvatura do solo, Cc, (%)	Condutividade hidráulica, K, (m/s)
		Cascalho	Areia	Silte	Argila			
P.1	0,0	0	0	0	0	0	0	0
P.2	0,60	19	80	1	0	5,3	1	$2,25 \times 10^{-3}$
P.3	0,40	14	86	0	0	3,4	1	$2,56 \times 10^{-3}$
P.4	0,40	14	84	2	0	5,0	1	$1,96 \times 10^{-3}$
P.5	0,40	11	87	2	0	3,8	1	$1,69 \times 10^{-3}$
P.6	0,40	19	80	1	0	4,7	1	$3,61 \times 10^{-3}$
P.7	0,20	13	86	1	0	4,3	1	$2,25 \times 10^{-3}$
P.8	0,35	17	82	1	0	4,7	1	$2,25 \times 10^{-3}$
P.9	0,35	12	75	3	0	4,5	1	$1,00 \times 10^{-3}$

Como pode ser observado na tabela 16, o rejeitado depositado na bacia de contenção não é plástico, pois, em termos de médias, podemos dizer que o nosso material possui uma granulometria em cada classe, nas quais destacam-se 15 % de cascalho, 83 % de areias e 2 % de silte. É possível notar nos resultados apresentados, que as frações de areias estão em maior percentagem em relação às outras.

Os rejeitados colhidos na praia da bacia de contenção, sofrem uma influência da segregação hidráulica, isto é, as partículas grosseiras têm a tendência de ficar próxima do ponto de descarga, enquanto às de calibres médios e finos respetivamente, são arrastados para a zona intermédia da praia e outras sedimentam-se na bacia. No entanto, é importante realçar que de acordo a tabela 5, os rejeitados da bacia de contenção de Catoca são classificados, como areias limpas bem graduada. Em concordância com a tabela 6, estas características conferem ao solo, uma elevada permeabilidade, uma excelente resistência ao corte e compressibilidade desprezável, quando compactado e saturado. Como pode-se observar na tabela 16, a condutividade hidráulica varia entre $1,0 \times 10^{-3}$ e $3,61 \times 10^{-3}$ m/s, o que nos permite classifica-los como tendo uma condutividade alta (tabela 7).

Desta forma, podemos concluir de acordo os parâmetros de projeto, que o rejeito da bacia de contenção de Catoca, apresenta excelente qualidade para a construção do novo dique.

6.1.3 Resistência ao Corte

Para ter um conhecimento da resistência ao corte do rejeito que será utilizado para a construção do novo dique, foram recolhidas amostras ao longo da praia através de um amostrador cilíndrico com cravação ao solo, que permitiu a obtenção de amostras indeformadas. Em seguida fez-se o ensaio de corte direto *in situ* cujos resultados encontram-se na tabela 17.

Tabela 17 - Resultados do ensaio de corte direto

Tensão vertical σ_v (Kgf/cm ²)	Tensão tangencial τ (Kgf/cm ²)
1,0	0,81
2,0	1,17
3,0	1,98

Agregando a estes resultados o coeficiente de atrito interno, $\tan\phi$ igual a 0,59, é possível traçar a linha de resistência intrínseca do material ou a envolvente de rotura, da ilustração 31. Para cada valor da tensão efetiva normal de um plano que atravessa um elemento do solo a máxima tensão tangencial mobilizada a favor do plano.

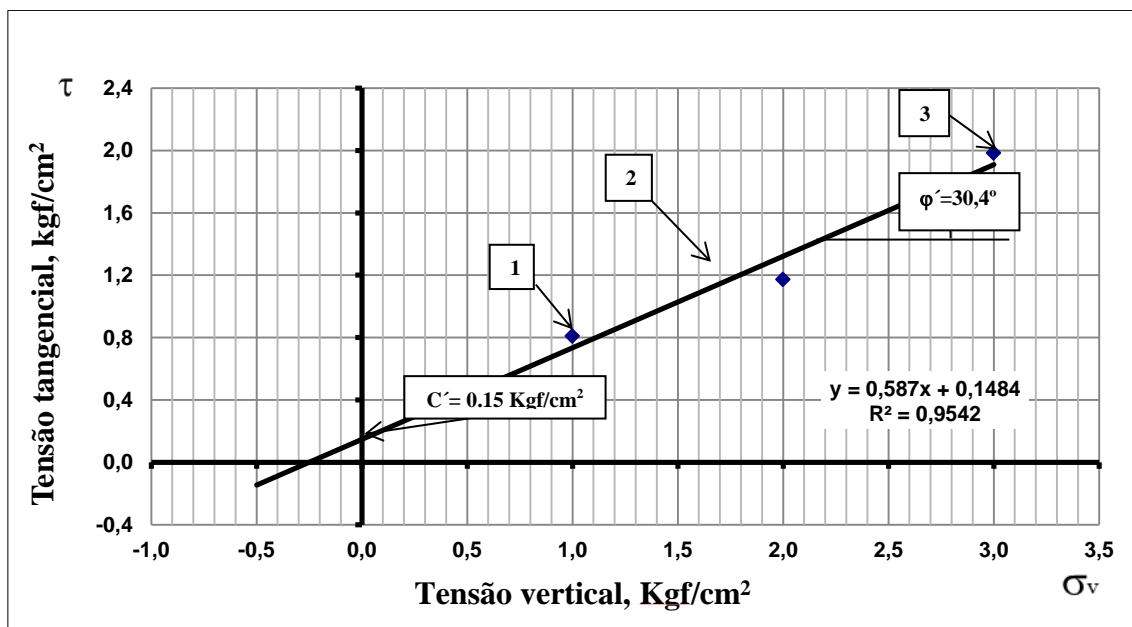


Ilustração 31 - Envolvente de rotura dos solos da bacia dos rejeitados de Catoca

Como é possível observar na ilustração 31, o ponto 2 da envolvente de rotura, isto é, da relação σ_v' e τ , mostra de certa maneira, que este ponto tem um determinado fator ou margem de segurança por não alcançar a envolvente de rotura, desde que, para uma determinada tensão efetiva vertical, a tensão tangencial seja menor do que o máximo que se irá mobilizar. Por outro lado, os pontos 1 e 3, encontram-se acima da envolvente de rotura, quer dizer, ultrapassaram a condição máxima do critério de rotura e não existe uma compatibilidade com a resistência do solo. Pode-se afirmar que as orientações do plano que atravessam o solo excedem as condições de rotura. Nesta mesma ilustração 31, é observável que a coesão efetiva é de $0,15 \text{ kgf/cm}^2$, representando a máxima resistência tangencial deslocada num plano quando a tensão efetiva vertical do mesmo plano é nula e o ângulo de atrito interno de $30,4^\circ$.

6.1.4 Curva de compactação do solo

Para analisar os níveis de estabilidade da estrutura e o modo como irá aumentar a resistência ao corte do material utilizado no processo de construção do novo dique na bacia de contenção dos rejeitados da sociedade mineira de Catoca, foram recolhidas amostras ao longo da praia, distribuídas por 9 pontos em uma malha quadrada e estas posteriormente misturadas. De modo adquirir as características intrínsecas do material a utilizar no alteamento, efetuou-se o ensaio de proctor ou ensaio de compactação. Para o desenvolvimento do ensaio foram consideradas as regras pautadas pela ASTM D 1557. O resultado deste ensaio é revelado no boletim de registo nº 3 do anexo III e pela curva de compactação da ilustração 32, que descreve a avaliação do peso volúmico seco máximo e o teor em água ótimo para uma energia específica de compactação.

Nos resultados alcançados no ensaio de proctor, é possível notar cada vez que se adicionava uma quantidade de água, para o solo ficar húmido, os solos tendem a ficar mais compactos. Isto é, ocorre a oclusão das trajetórias por onde o ar é expulso ou o ar presente no solo deixa de estar até um certo limite em continuidade com atmosfera. Considera-se, neste instante o teor em água ótima de projeto, em que o aumento da água pode transformar-se na redução do peso volúmico seco máximo e consequentemente a redução da compactação.

Por outro lado, é importante ressaltar que os resultados, apresentados no boletim de registo nº 3 do anexo III, permitem compreender que para um certo nível de crescimento de energia específica aplicado ao solo, pelo processo de compactação, tem efeito tendencialmente nulo em aumentar a densidade máxima seca. O conhecimento deste aspeto, torna-se fundamental para traçar as

capacidades energéticas que poderão ser submetidas os rejeitados da bacia de contenção pelo equipamento de compactação, na construção do novo dique.

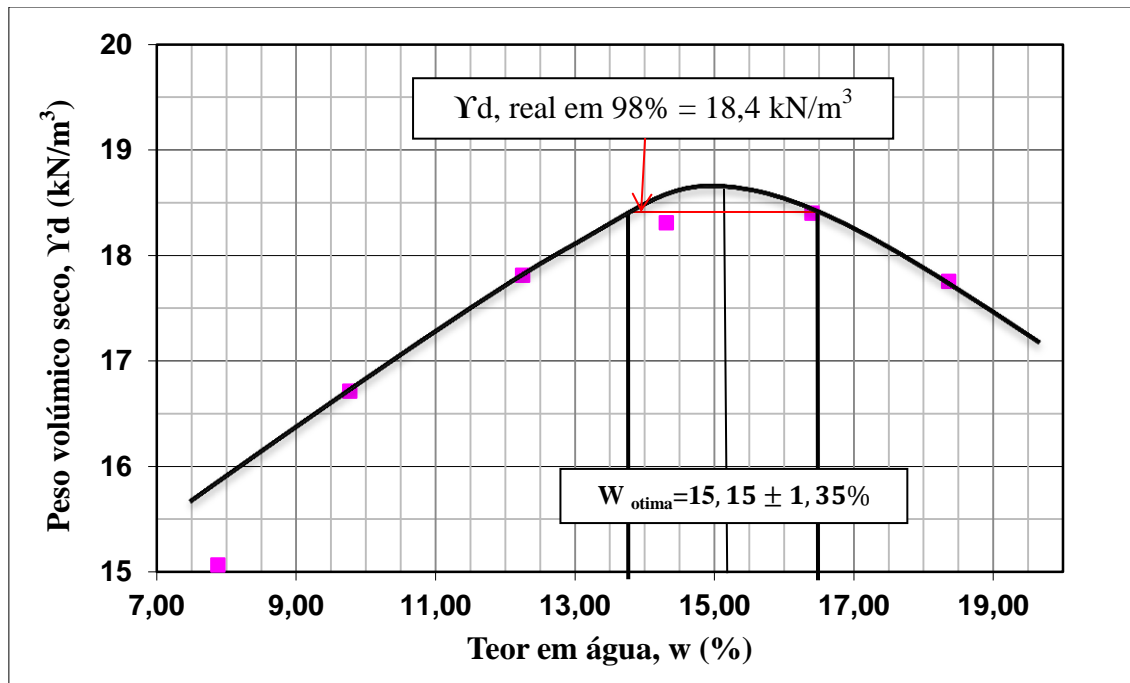


Ilustração 32 - Curva de compactação dos solos da bacia dos rejeitados de Catoca

Na ilustração 32, verifica-se que ao atingir o teor em água ótimo, $W_{\text{ótima}} = 15,15 \pm 1,35\%$, e o peso volúmico seco real em 98 %, $0,98Y_d$, para cada camada de compactação o solo alcança a resistência ao corte aceitável, altos níveis de estabilidade da estrutura, um alto grau de compactação e concludentemente se manifesta com a obtenção do peso volúmico seco máximo de $18,7 \text{ kN/m}^3$, sob ação do aperto das partículas de solos e expulsão do ar. Por outro lado, é visível na ilustração 32, que quando o solo apresenta um teor em água acima do ótimo, o solo fica demasiado mole e as tensões de cortes submetidas durante o período de compactação serão superiores à resistência ao corte, fazendo com que, a energia específica de compactação seja dissipada no corte com um decréscimo do peso volúmico seco. Quando o solo exibir um teor em água abaixo do ótimo, ao ser compactado irá apresentar uma quantidade significativa de bolsas de ar em relação aos de teor em água acima do ótimo. Este solo absorverá mais facilmente o teor em água mais próximo à saturação com subsequente perda de força e impermeabilidade.

6.2 Resultados e Análise do Controlo Ambiental

A determinação dos parâmetros físicos-químicos da água, tais como, o pH, a temperatura, a condutividade elétrica, a turbidez, os sólidos totais em suspensão, os metais pesados, a concentração química e biológica de oxigénio, jogam um papel importante na perceção da qualidade da água que está sendo lançada para os rios, no nível de degradação ambiental da zona onde está localizada o empreendimento e a sapiência necessária de procurar soluções ideais para reabilitação das zonas contaminadas ao longo da atividade de exploração ou selecionar medidas passivas de mitigação dos impactos ambientais.

No entanto, para alcançar esta similitude de ideias e metas, foram realizadas amostragens em pontos de colheita na água retida na bacia e água vazada pelos drenos, cachimbos e o tubo de descarga das cheias. No período de 05 de maio a junho de 2014, mediram-se as variáveis pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais em suspensão CQO, CBO e os metais pesados, para confrontar com as quantidades permitidas pela legislação portuguesa, tendo em conta que a legislação angolana evidencia este critério de maneira tácita.

Tabela 18 - Resultados da análise da água da bacia de rejeitados

Parâmetros	Unidades	Resultados		VLE	Métodos de análises
		Retida	Drenada		
pH	Escala Sorensen	8,07	8,04	6 - 9	Potenciómetro
CBO	mg/l O ₂	5,5	5,5	40	SMEWW 5210 B
CQO	mg/l O ₂	31,4	17,2	150	ASTM D1252
Sílica	mg/l Si	22,20	18,63	---	SMEWW 4500-SiD
Alcalinidade total	mg/l CaCO ₃	16	6	300	Espectrofotometria, $\lambda=50$
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	25,9	9,6	-	Potenciómetro
SST	-	-	-	1500	-
Alumínio	mg/l Al	0,18	0,03	10	Espectrofotometria, $\lambda=30$
Arsénio	-	-	-	1	-
Cadmio	-	-	-	0,2	-
Sulfatos	mg/l SO ₄	13	4	100	Espectrofotometria, $\lambda=150$
Crómio	-	-	-	2,0	-

Verifica-se na tabela 18, as concentrações e limites da água retida, água vazada pelos drenos, cachimbos e o tubo de descarga da bacia de contenção dos rejeitados de Catoca, cumprem os requisitos legais estabelecidos no anexo XVIII do decreto-lei nº236/98 de 1 de agosto da legislação de Portugal. Desta forma pode-se afirmar que Catoca lança efluentes para o rio Chicapa a que não prejudicam significativamente o ecossistema aquático.

Ao visualizar os resultados da tabela 18, é possível notar que os parâmetros de pH, CBO e Silício apresentam a mesma ordem de grandeza quer para as águas retidas, quer para as drenadas. No entanto, os valores de CQO, sulfatos, alumínio e alcalinidade total são mais baixos nas águas drenadas. Este facto deve-se provavelmente ao efeito depurador natural existente na natureza, a ação do calcário na bacia, bem como uma possível infiltração da água na bacia dos rejeitados.

6.3 Análise dos Resultados da Monitorização por Instrumentos

Levando em consideração os procedimentos operacionais de monitorização por instrumentos universalmente adotadas para o controlo das bacias de contenção de rejeito, considera-se que Catoca:

- ❖ Adota alguns procedimentos de monitorização por instrumento, como é o caso do nível de enchimento, a quantidade de material e água vazado na bacia de contenção, como pode ser visto na tabela 19 que representa os dados recolhidos no dia 02/05/2014. Por outro lado, a estrutura carece de dispositivo de tecnologia avançada para assegurar eficientemente no processo de monitorização do nível de enchimento da bacia, nível crítico de inundação, nível freático, avaliação dos deslocamentos da estrutura, pressões de água nos poros, níveis de precipitação, assentamentos e tensões totais;
- ❖ Não executa uma sistematização rigorosa da monitorização que permita melhorar o processamento de dados com vista à disponibilização da informação em arquivos que possam ser acedidos pela área ambiental, pela liderança da empresa e pelas entidades competentes do governo que fiscalizam as atividades de mineração e ambiente.

Tabela 19 - Variáveis de descarga dos rejeitados na exploração da bacia de contenção

Variáveis de descarga	Quantidades
Volume de polpa na bacia, m ³ /h	6049
Volume de rejeitados (material sólido), T/h	1050
Volume de água livre, m ³ /h	4999
Superfície ocupada pela bacia, km ²	5,40
Nível de enchimento, metros absolutos	977,50
Cota da crista do dique, metros absolutos	982,00
Profundidade média (H média), m	4,80
Profundidade máxima (H máxima), m	10,67

CAPÍTULO 7

Conclusões

7 Conclusões

Após alvitrar uma metodologia de controlo geoambiental para a bacia de contenção de rejeitados da sociedade mineira de Catoca, em jeito de conclusão pode – se afirmar sistematicamente, que:

- ❖ Os resultados obtidos pelo controlo geotécnico, ambiental e monitorização instrumental, permitem enquadrá-la como sendo à partida de elevado risco, e se pode reverter num risco médio.
- ❖ Os procedimentos adotados nesta metodologia respeita a preservação das espécies aquáticas e o ecossistema da região, garantindo um alto nível de sustentabilidade de exploração mineira e dar uma visão holística mais clara de investimentos e gestão ambiental.
- ❖ A estrutura carece ainda de alguns dispositivos de tecnologia avançada para assegurar eficientemente no processo de monitorização o nível de enchimento da bacia, o nível crítico de inundação, o nível freático, a avaliação dos deslocamentos da estrutura, as pressões de água nos poros, os níveis de precipitação, os assentamentos e as tensões totais.
- ❖ A empresa adota no processo de deposição dos rejeitados na bacia de contenção uma elevada eficiência e a reutilização da água, proporcionando uma gestão racional das fontes de captação, diminuição dos custos económicos avultados na captação de água fresca nos rios, degradação do ambiente e o cumprimento da exigência legal, nos artigos 64 e 70º do código mineiro angolano.
- ❖ Assim os procedimentos sugeridos nesta dissertação irão minimizar os riscos de insegurança da estrutura e reduzir os impactos ambientais dos resíduos de tratamento de minérios perfilhado pela sociedade mineira de Catoca, bem como contribuir para um ato de sincronização de um trinómio entre mineração sustentável – ambiente seguro- população feliz.

CAPÍTULO 8

Referências Bibliográficas

8. Referências bibliográficas

- 1) Araújo, A.G., Guimarães, F., Perevalov, O.V., Voinovsky, A.S., Tselikovsky, A.F, Agueev, Y.L, Polskoi, F.R, Khódirev, V.L e Kondratiev, A.I. (1992). Geologia de Angola, Notícia explicativa da carta geológica à escala 1:1000.000. Serviços Geológicos de Angola, p. 29-69.
- 2) Assis, A.P. & Espósito, T.J. (1995). Construção de Barragens de Rejeitos Sob uma Visão Geotécnica. III Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração, REGEO'95, ABMS/ABGE/CBGB, Ouro Preto-MG.
- 3) AUSTRALIAN EPA (*Australian environment protection agency*), (1995). *Best Practice Environmental Management in Mining. Tailings Containment*. Canberra.
- 4) Bates, Jeremy. (2003). Parâmetros no Projeto de Pilhas e Barragens. Ed. Signus, vol.1, p. 17.
- 5) Brawner, C.O. and D.B. Campbell. (1973). "*The Tailings Structure and its Characteristics A Soil's Engineer's Viewpoint.*" In: *Tailings Disposal Today, Proceedings of the First International Tailings Symposium, Arizona. October 31*.
- 6) CANMET (*Canadian Centre for Mineral and Energy Technology*). (1977). *Pit Slope Manual. Chapter 9:Waste Embankments*.
- 7) Chammas, Ribeiro. (1989). Nota de Aula do Curso de Barragens de Contenção de Rejeitados. Ouro Preto – MG.
- 8) Código mineiro Angolano. Lei nº 31/2011 de 23 de Setembro. Diário da República nº 184/11 - I - Série A . Luanda.
- 9) Companhia Vale do Rio Doce, AE. (2007). Mineração no Brasil, Mineração e Meio Ambiente.
- 10) CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005. Brasília.
- 11) Cruz, P.T. (1996). 100 Barragens Brasileiras: Casos históricos, Materiais de Construção, Projeto. Oficina de textos, São Paulo, Brasil, 648p.
- 12) Decreto-lei nº 238/98 de 1 de agosto. Diário da República Portuguesa nº 176/98 - I série -A. Ministério do Ambiente. Lisboa.

- 13) Decreto-lei nº 11/90, de 06 de Janeiro. Diário da República Portuguesa nº 05/90 - I série -A. Lisboa.
- 14) Decreto-lei nº 344/2007 de 15 de outubro. Diário da República Portuguesa nº198/2007 – Iª série A. Lisboa.
- 15) Decreto-lei nº 236/98 de 1 de agosto. Diário da República Portuguesa nº179/98 – Iª série - A. Ministério do Ambiente. Lisboa.
- 16) Decreto-lei nº 10/2010 de 4 de Fevereiro. Diário da República Portuguesa nº 24/2010 – Iª série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.
- 17) Dias, Renato Feliciano. (1985). Controle Ambiental de Mineração. “Deposição de Rejeitados de Mineração”. Ed. Do Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, v.2, p.148-151.
- 18) Documentação do projeto de abertura da chaminé kimberlítico de Catoca. 2011
- 19) Espósito, Teodora Jaime. (2000). Metodologia Probabilística e Observacional Aplicada a Barragens de Rejeitados Construídas por Aterros Hidráulicos. Universidade de Brasília – Brasília-DF.
- 20) Fernandes, M. M. (2011). Mecânica dos solos – conceitos e princípios fundamentais. Vol.1, Porto, Feup edições. 2ª Edição.
- 21) Fernandes, M. M. (2011). Introdução à engenharia geotécnica. Vol.2, Porto, Feup edições. 1ª Edição, pp 513 -541.
- 22) Fiúza, A. M (2009). Sebenta da disciplina de impacto ambiental Mineiro. Porto.
- 23) ICOLD -International Commission on Large Dams. (2014). *Chronology of major tailings dam failures*. Paris. Disponível em <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>. Acessado em 25/02/2014.
- 24) Klohn, E.J. (1981). *"The Development of Correct Tailings Dam Design and Construction Methods-Design and Construction of Tailings Dams."* *Proceedings of a Seminar November 6-7, Golden, Colorado*.
- 25) Lambe, W.T &Whitman, R.V. (1979). *Soil mechanics, SI Version*, John Wiley & Sons, USA.
- 26) Lighthall, P.C., B.D. Watts and S. Rice. (1989). *"Deposition Methods for Construction of Hydraulic Fill Tailings Dams."* In: *Geotechnical Aspects of Tailings Disposal and Acid Mine Drainage. The Vancouver Geotechnical Society, Vancouver, British Columbia, May 26*.
- 27) Mansur, C. L. Kaufman, R. L. (1962). *Dewatering. Foundation Engineering*, G. A. Leonards (ed), McGraw –Hill, New York.

- 28) Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília, 2002.
- 29) Menescal, R. A. Miranda, A. N. Pitombeira, E. S. Perini, D. S. (2005). Prevenção de acidentes envolvendo barragens: Projeto de diagnóstico da segurança de barragens no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- 30) Moisés, A.A. (2003). Geologia e Técnicas de Prospeção dos Depósitos Diamantíferos do Nordeste de Angola.
- 31) Monforte, A. (1960): Síntese geral da Geologia do Nordeste da Lunda. Companhia de diamantes de Angola. Direção Geral na Lunda, p. 1-163.
- 32) Portaria nº 846/93 de 10 de setembro. Diário da República Portuguesa nº 213/93 – I série -B. Lisboa.
- 33) Portaria nº 847/93 de 10 de setembro. Diário da República Portuguesa nº 213/93 – I série -B. Lisboa.
- 34) Portaria nº 246/98 de 21 de Abril. Diário da República Portuguesa nº 93/98 – I série -B. Lisboa.
- 35) Relatório anual de Catoca. 2008. Saurimo.
- 36) Relatório anual de Catoca. 2009. Saurimo.
- 37) Relatório anual de Catoca. 2010. Saurimo.
- 38) Relatório anual de Catoca. 2011. Saurimo.
- 39) Relatório anual de Catoca. 2012. Saurimo.
- 40) Terzaghi, K. & Peck, R.B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*. 2^a Edition, John Wiley & Sons, New York.
- 41) Vick, S.G. (1983). *Planning, design and analysis of tailing dams*, John Wiley & Sons, New York, USA, 369p.
- 42) Vallejo, G. L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2002) *Ingeniería Geológica*. 1^a Edição, Prentice Hall Pearson Educación, Madrid.
- 43) Vick, S.G. (1990). *Planning, Design and Analysis of Tailings Dams*. BiTech Publishers Ltd.
- 44) Vieira, V. P. P. B. (2005) Análise de riscos em recursos hídricos – fundamentos e Aplicações. Porto Alegre-RS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).

ANEXOS

ANEXOS I

Boletins de Inspeção Visual e Monitorização por instrumentos

Boletim nº1, Monitorização do Nível de Água na Bacia

Objeto de Amostragem: _____

Mês/Ano e hora da recolha _____ / _____, _____ h

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Dia	Nível de água na Bacia	Observações
01		
02		
03		
04		
05		
06		
07		
08		
09		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		

Responsável do turno: _____

Assinatura: _____

Boletim nº 3, Registos das Deslocações Externas da Estrutura

Objeto de Amostragem: _____

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____

Nível de água na bacia: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Marcas de superfície	Perfil de observação	Coordenadas			Observações
		X	Y	Z	

Responsável do turno: _____

Assinatura: _____

Boletim nº4, Registo da Deslocação Interna da Estrutura

Objeto de monitorização: Bacia de rejeito/Extensómetro de fundação

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____

Nível de água na bacia: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Identificação	Perfil	Medidas (mm)	Observações

Responsável do turno: _____

Assinatura: _____

Boletim nº 5, Registo das Tensões Totais

Objeto de monitorização: Bacia dos Rejeitados/Células de tensões totais

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____

Nível de água na bacia: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Código da célula	Série	Orientação	Registo (Hz)	Observações
		V		
		45°		
		H		
		135°		
		V		
		45°		
		H		
		135°		
		V		
		45°		
		H		
		135°		
		V		
		45°		
		H		
		135°		
		V		
		45°		
		H		
		135°		

Responsável do turno: _____

Assinatura: _____

Boletim nº 6, Registo da Pressão Intersticial

Objeto de monitorização: Bacia dos Rejeitados/Células de pressões intersticial

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____

Nível de água na bacia: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Código da célula	Perfil	Registo (Hz)	Observações

Responsável do turno: _____

Assinatura: _____

Boletim nº 7, Registo do Nível Freático

Objeto de monitorização: Bacia dos Rejeitados/Piezómetro Hidráulicos

Data e hora da recolha____/____/____,____h____

Nível de água na bacia: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes_____

[illegible]

Responsável do turno:_____

Assinatura: _____

Boletim nº8, Registo da Inspeção Visual

Objeto de monitorização: Bacia dos Rejeitados

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____

Nível de água na bacia: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Estrutura	Problemas	Ocorrências	Ref. de fotografia
Talude	Vegetação		
	Tocas de Animais		
	Zonas húmidas		
	Erosões externa		
Sistema de Drenagens	Arrastamento de fino		
	Danificação dos drenos		
	Colmatção dos drenos		
	Escoamento superficial		
Sistema de Iluminação	Lâmpadas inoperante		
	Postes de iluminação		
	Cabos elétricos		
	Outros		
Coroamento do dique	Assentamentos		
	Sistema de escoamento de águas pluviais		
	Fissuras/Fendas		
	Outros		
Sistema de Monitorização	Marcos superficiais		
	Piezómetros		
	Células de pressão intersticial		
	Células de tensões totais		
	Medidores de caudais		
	Extensómetros		

Responsável do turno: _____

Assinatura: _____

ANEXOS II

Boletins dos Ensaios de Campo e de Laboratório/Água

Boletim nº1, Recolha de Amostra/Campo

Objeto de Amostragem: _____

Código de identificação da amostra: _____

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h

Ponto de amostragem _____

Profundidade _____

Coordenadas (X,Y) _____

Distancia dos pontos: _____

Tipo de malha: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Variáveis	Valor obtido					Valor médio
	P1	P2	P3	P4	P5	
PH						
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)						
Oxigénio dissolvido						
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)						
Eh (mV)						

Observações: _____

Responsável da recolha: _____

Assinatura: _____

Boletim nº 2, Recolha de Amostra/Laboratório**Objeto de Amostragem:** _____**Código de identificação da amostra:** _____**Data e hora da recolha** ____/____/____, ____ **h** _____**Ponto de amostragem** _____**Profundidade** _____**Coordenadas (X,Y)** _____**Distancia dos pontos:** _____**Tipo de malha:** _____**Condições climáticas atuais e 48h antes** _____

Variáveis	Valor obtido					Valor médio
	P1	P2	P3	P4	P5	
Dureza Total						
CBO						
Metais totais						
CQO						
Sólido totais em suspensão						
Sulfatos						
Turbidez						
Alumínio						
Ferro total						
Manganês total						
Sílica						
Chumbo total						
Arsénio total						
Cádmio total						
Crómio total						
Fósforo Total						

Observações: _____**Responsável da recolha:** _____**Assinatura:** _____**Data e hora da entrega ao técnico do laboratório** ____/____/____; ____ **h** _____**Assinatura do técnico:** _____

ANEXOS III

Boletins de Solicitação dos Ensaios Geotécnico e dos Resultados

Boletim nº 1, Solicitação dos Ensaios Geotécnicos

Objeto de Amostragem: _____

Código de identificação da amostra: _____

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ **h** ____

Pontos de amostragem _____

Profundidade _____

Coordenadas (X,Y) _____

Distancia dos pontos: _____

Tipo de amostrador: _____

Condições climáticas atuais e 48h antes _____

Parâmetros de ensaios e análise:

- ❖ Granulométrica
- ❖ Teor em água
- ❖ Peso volúmico
- ❖ Densidade do solo
- ❖ Ensaio de Corte direito
- ❖ Ensaios de compactação
- ❖ Teor de matéria orgânica

Responsável da recolha: _____

Assinatura: _____

Data e hora da entrega ao técnico do laboratório ____/____/____; ____ **h** ____

Assinatura do técnico: _____

Boletim nº 2, Resultados das Análises Granulométricas

Código de identificação da amostra: _____

Data e hora da recolha ____/____/_____, ____ h ____ Coordenadas (X,Y) _____

Distancia dos pontos: _____ Tipo de amostrador: _____

Dados	Análise granulométrica									Análise feita por lavagem com água	Empresa		
											Objeto		
Peso do solo, g	Composição granulométrica, mm										Ponto de amostragem		
	» 40	40—20	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	< 0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	< 0,1	Profundidade, m	
Fração do peso de solo, g												Tipo de solo	
Teor de Fração, %													

Assinatura do técnico de laboratório: _____

Data de entrega: ____/____/____

Boletim nº 3, Resultados dos Ensaios de Compactação

Objeto de amostragem: _____ Código de identificação da amostra: _____
 Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____ Peso do pilão _____ Nº de camadas _____
 Altura de queda _____ Nº de pancadas/Camada _____ Peso do Molde _____ Volume do Molde _____
 Energia específica _____

Ponto da curva	Peso bruto do solo húmido, g	Peso do solo húmido, g	Densidade do solo húmido	Determinação da Humidade			Humidade calculada, %	Peso volúmico do solo seco, g/cm ³
				Água adicionada, %	Água adicionada, ml	Humidade encontrada, %		
P1		5310	1,65	4	250	4	6,1	1,55
P2	10650	5350	1,66	2	140	6	7,9	1,54
P3	11340	6040	1,87	2	140	8	9,8	1,71
P4	11750	6450	2,00	2	140	10	12,3	1,78
P5	12190	6890	2,14	2	140	12	14,3	1,87
P6	12210	6910	2,14	2	140	14	16,4	1,84
P7	12080	6780	2,10	2	140	16	18,4	1,78

Assinatura do técnico de laboratório: _____

Data de entrega: ____/____/____

Boletim nº 4, Resultados da Densidade das Partículas Sólidas

Objeto de Amostragem: _____

Código de identificação da amostra: _____

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h Coordenadas (X,Y) _____

Distancia dos pontos: _____ Tipo de amostrador: _____

Ponto de amostragem	Nº do picnómetro	Peso do picnómetro	Peso do picnómetro + solo	Peso do picnómetro + solo + água	Peso do picnómetro + água	Densidade das partículas sólidas
P1	0	0	0	0	0	0
P2	1	70,84	85,87	179,991	170,386	2,77
P3	2	69,58	84,62	178,787	169,29	2,71
P4	3	50,79	65,82	159,954	150,5	2,70
P5	4	27,988	43,057	137,620	128,201	2,67
P6	5	50,426	65,885	159,916	150,065	2,76
P7	6	37,201	52,924	146,940	137,028	2,71
P8	7	35,518	51,062	145,236	135,383	2,73
P9	8	36,339	51,490	145,719	136,050	2,76

Assinatura do técnico de laboratório: _____

Data de entrega: ____/____/____

Boletim nº 5, Resultados do Teor em Água

Objeto de amostragem: _____

Código de identificação da amostra: _____

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____ Coordenadas (X,Y) _____

Distancia dos pontos: _____ Tipo de amostrador: _____

Ponto de amostragem	Profundidade	Nº da capsula	Peso da capsula	Peso da capsula + solo húmido	Peso da capsula + solo seco	Teor em água
P1	0	0	0	0	0	0
P2	0,6	26	18,39	151,71	127,00	0,23
P3	0,4	39	18,34	158,60	125,94	0,30
P4	0,4	7	19,15	139,78	112,11	0,30
P5	0,4	31	18,55	181,83	143,79	0,30
P6	0,4	27	18,78	168,43	139,27	0,24
P7	0,2	2	18,30	178,38	142,80	0,29
P8	0,4	39	18,34	177,64	146,33	0,24
P9	0,4	7	19,18	178,34	145,22	0,26

Assinatura do técnico de laboratório: _____

Data de entrega: ____/____/____

Boletim nº 6, Resultados de Ensaios do Peso Especifico Aparente/Campo

Código de identificação da amostra: _____

Data e hora da recolha ____/____/____, ____ h ____ Coordenadas (X,Y) _____

Distancia dos pontos: _____ Tipo de amostrador: _____

Ponto de amostragem	Profundidade	Cor	Tipo de solo	Nível de água, cm	Peso do anel. g	Peso do anel + solo, g	Volume do anel, cm ³	Peso específico aparente, g/cm ³
P.1	0	0	0	0	0	0	0	0
P.2	0,6	Castanho	Areia	18	4000	9646	2823,093	2,00
P.3	0,4	Castanho	Areia	23	4000	9646	2823,093	2,00
P.4	0,4	Castanho	Areia	22	4000	9364	2823,093	1,90
P.5	0,4	Castanho	Areia	20	4000	9300	2823,093	1,88
P.6	0,4	Castanho	Areia	30	4000	9600	2823,093	1,98
P.7	0,2	Castanho	Areia	20	4000	9600	2823,093	1,98
P.8	0,4	Castanho	Areia	35	4000	9200	2823,093	1,84
P.9	0,4	Castanho	Areia	35	4000	9500	2823,093	1,95

Assinatura do técnico de laboratório: _____

Data de entrega: ____/____/____

Boletim nº 7, Resumo das Propriedades Físicas e Mecânica dos Rejeitados

Código de identificação da amostra: _____

Data e hora da recolha ____/____/_____, ____ h ____ Coordenadas (X,Y) _____

Distancia dos pontos: _____

Nº de pont.	prof	Composição granulométrica, (mm)									Teor das frações (%)				Yap	Gs	W	Yd	n	e
		>2	2 - 1	1 - 0.5	0.5- 0.25	0.25-0.1	0.1-.05	.05-.01	.01-.005	<.005	Cascalho	Areia	Silte	Argila	g/cm ³	g/cm ³	(%)	g/cm ³	(%)	
P.1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,0	0,00
P.2	0,60	19	16	19	21	23	1	1	0	0	19	80	1	0	2,00	2,77	0,23	1,63	41,3	0,70
P.3	0,40	14	12	17	34	22	1	0	0	0	14	86	0	0	2,00	2,71	0,30	1,54	43,2	0,76
P.4	0,40	14	14	22	25	21	2	2	0	0	14	84	2	0	1,93	2,70	0,30	1,48	45,0	0,82
P.5	0,40	11	11	19	27	27	3	2	0	0	11	87	2	0	1,88	2,67	0,30	1,45	45,8	0,85
P.6	0,40	19	18	24	22	15	1	1	0	0	19	80	1	0	1,98	2,76	0,24	1,60	42,1	0,73
P.7	0,20	13	14	22	25	22	3	1	0	0	13	86	1	0	1,98	2,71	0,29	1,53	43,4	0,77
P.8	0,35	17	14	20	23	23	2	1	0	0	17	82	1	0	1,84	2,73	0,24	1,48	45,6	0,84
P.9	0,35	12	11	15	21	32	6	3	0	0	12	75	3	0	1,95	2,76	0,26	1,55	43,9	0,78

Assinatura do técnico de laboratório: _____

Data de entrega: ____/____/____